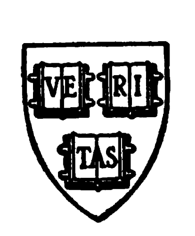
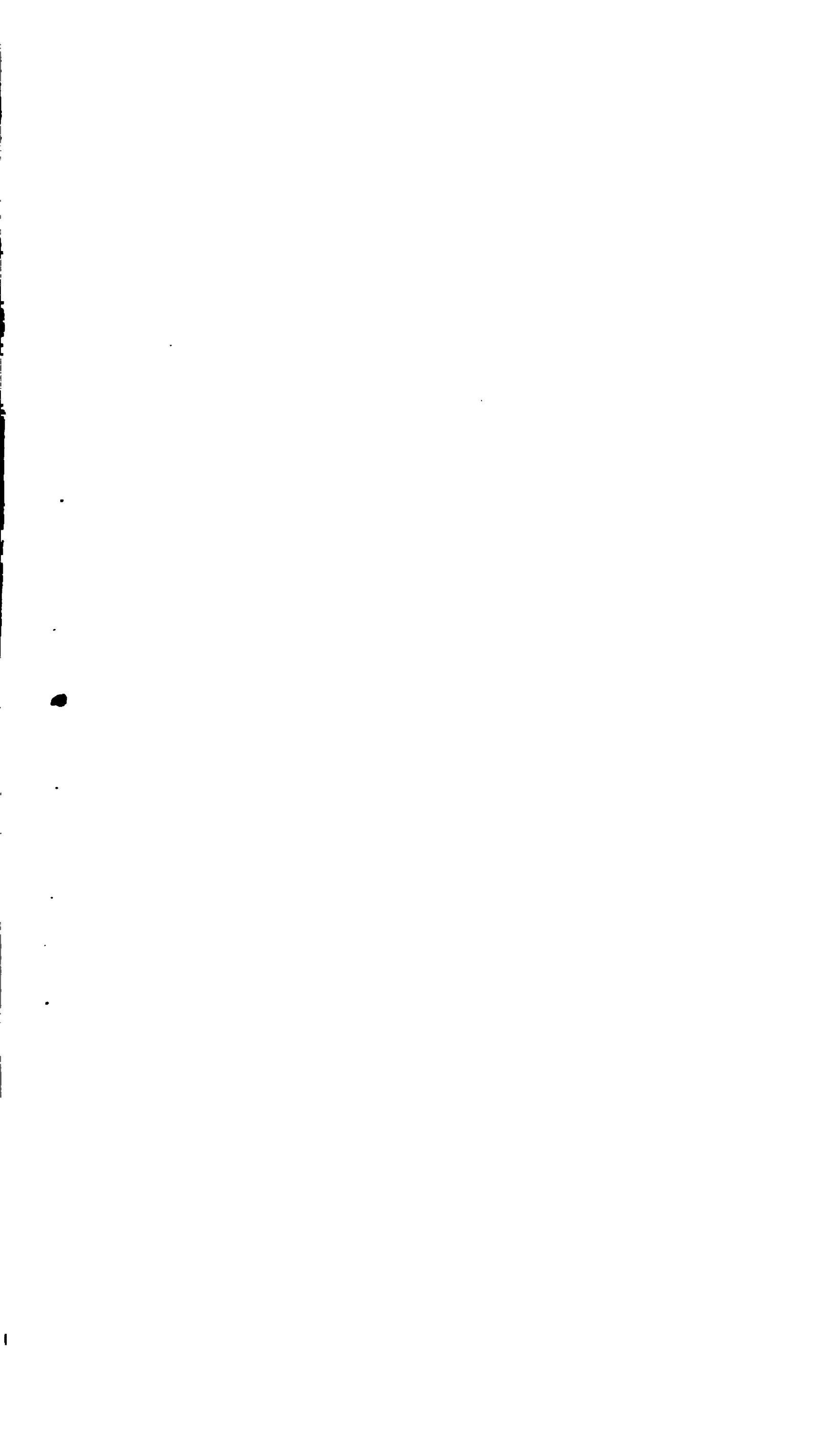

VE
RI
TAS



Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches

Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

Zweiter Band
C und D.

Mit Kupfertafeln I bis XX.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1826.

Fortsetzung
des
Subscribenten-Verzeichnisses.

	Exempl.
Se. Kaiserl. Hoheit der Herr Erzherzog Carl von Oestreich . . . Schreibp.	1
Herr J. V. Albert, Kunsthändler und Mitglied des Physikalischen Vereins in Frankfurt a/m. . .	1
- Joseph Ritter von Arbter, k. k. Justiz-Hofrath in Wien	1
Die Arnoldische Buchhandl. in Dresden	6
Herr Barth, Buchhändler in Leipzig	4
Die Beckersche Buchhandlung in Gotha	1
Herr Bischof, Studiosus in Leipzig	1
- Gebr. Bornträger, Buchhändler in Königsberg. .	4
Schreibp.	1
- Borrosch, Buchhändler in Prag	2
- Breitkopf & Härtel in Leipzig	1
- Brendel, Studiosus in Leipzig	1
- Brummer, Buchhändler in Kopenhagen . . .	1
Die Calvesche Buchhandlung in Prag . . .	3
Herr F. Chlebeczek, Prof. der Mathem. in Przemysl .	1
- Cnobloch, Buchhändler in Leipzig . . .	2
- v. Coels, Landrath und Polizeydirector in Aachen .	1
Die hochlöbl. k. k. Commercien-Hofstelle in Wien	1
Das Comtor der Handlungszeitung in Nürnberg .	1
Herr Craz & Gerlach, Buchhändler in Freyberg .	1
Die Crökersche Buchhandlung in Jena	3
Herr Deutrich, Salzverwalter in Deutiz . . .	1
Die Dieterichsche Buchhandl. in Göttingen . .	1
Herr Drechsler, Buchhändler in Heilbronn . .	1

	Exempl.
Herr Dresch, Buchhändler in Bamberg	1
- Ferdin. Dümmler, Buchhändler in Berlin . .	7
- Duncker & Humblot, Buchhändler in Berlin	5
Die Dyckische Buchhandl. in Leipzig	1
Herr Eichenberg, Buchhändler in Frankfurt a/m. .	1
- Enslin, Buchhändler in Berlin	1
- Finsterlin, Buchhändler in München . . .	1
- J. W. Fischer, Doctor d. Rechte und n. ö. Landesjustiziar zu Korneuburg	1
- Ernst Fleischer, Buchhändler in Leipzig .	1
- Friedrich Fleischer, Buchhändler in Leipzig Schreibp.	1
- Franckh, Buchhändler in Stuttgart	3
- Hofrath Dr. Fries in Jena	1
- Garthe, Buchhändler in Marburg	1
- Gastl, Buchhändler in Brünn	1
- Gerold, Buchhändler in Wien	12
Schreibp.	1
- Gosohorsky, Buchhändler in Breslau . . .	1
- Grau, Buchhändler in Baireuth	1
- Hahnsche Hofbuchhandlung in Hannover . .	1
- Hartmann, Buchhändler in Leipzig	2
- Heinrichshofen, Buchhändler in Magdeburg	2
Die Heinsiussche Buchhandl. in Gera	1
Die Helwingsche Hofbuchhandl. in Hannover .	1
Herr Hemmerde & Schwetschke, Buchhändler in Halle	4
- Herbig, Buchhändler in Berlin	2
Schreibp.	1
Die Hermannsche Buchhandl. in Frankfurt a/m. .	1
Herr Herr, Elementarlehrer in Wetzlar	1
- Heubner, Buchhändler in Wien	3
Schreibp.	1
- Heyder, Buchhändler in Erlangen	1
- Heyse, Buchhändler in Bremen	1
Die Hinrichsche Buchhandl. in Leipzig . Schreibp.	1
Die hochlöbl. k. k. Hof-Bibliothek in Wien . Schreibp.	1
Herr Hoffmann & Campe in Hamburg . Schreibp.	1

	Exempl.
Herr Huber & Comp. Buchhändler in St. Gallen .	1
- Klauzal, Sekretär in Wien	1
- Köbicke, Buchhändler in Berlin . . .	1
- Kraufs, Buchhändler in Prag	2
- J. A. Kreibich, Privatsekretär in Wien	1
- Krieger & Comp. Buchhändler in Marburg .	4
Schreibp.	2
- Dr. Kühn, Professor in Leipzig . . .	1
- Kümmel, Buchhändler in Halle . . .	1
- Kuhn & Millikowski, Buchhändler in Lemberg	1
- Kupferberg, Buchhändler in Mainz . . .	1
- Lachmann, Buchhändler in Hirschberg . .	1
- Lambert, Oberlehrer in Wetzlar . . .	1
- Laupp, Buchhändler in Tübingen	2
Schreibp.	1
Die Lindauersche Buchhandl. in München . .	1
Herr Max & Comp. Buchhändler in Breslau . .	6
Schreibp.	1
- Mayer, Buchhändler in Achen . . Schreibp.	1
- Mayersche Buchhandl. in Salzburg . . .	2
- Dr. Mensing in Erfurt	2
Die *Metzlersche* Buchhandlung in Stuttgart . .	7
Die löbl. k. k. Militär-Akademie in Wiener Neustadt .	1
Herr Mittler, Buchhändler in Berlin	1
- Mittler, Buchhändler in Leipzig	1
- Mörschner & Jasper, Buchhändler in Wien	4
- J. Müller, Buchhändler in Leipzig	1
- Müller & Comp. Buchhändler in Amsterdam .	1
- Nestler, Buchhändler in Hamburg	1
Die Nicolaische Buchhandl. in Berlin	3
Mr. N. A. Nilsen in London	1
Herr Dr. Nürnberger in Sorau . . Schreibp.	1
- Osiander, Buchhändler in Tübingen . . .	2
- Staatsrath v. Parrow in St. Petersburg noch .	1
Das löbl. k. Pasmaneum in Wien	1
Sr. Hochwohlgeb. Herr Baron Pereira in Wien Schreibp.	1
Herr Perthes & Besser, Buchhändl. in Hamburg .	3

	Exempl.
Herr Pilat, Hofsekretär in Wien	1
Das löbl. k. k. polytechnische Institut in Wien . .	1
Sr. Hochgeb. d. Herr Graf Rasoumovsky in Wien .	1
Herr Reimer, Buchhändler in Berlin . . .	1
Die Reinsche Buchhandlung in Leipzig . . .	2
Herr v. Rohden, Buchhändler in Lübeck . . .	2
- Ruff, Buchhändler in Halle	3
Se. Hochgeb. d. Herr Graf Salm in Wien . . .	1
Herr Schaub, Buchhändler in Elberfeld . . .	1
- Schmid, Buchhändler in Jena	3
Die Schöniansche Buchhandlung in Elberfeld .	1
Herr Schrag, Buchhändler in Nürnberg . . Schreibp.	1
Frau Wittwe Schuchart in Halle	1
Die Schulbuchhandlung in Braunschweig . .	2
Herr Schulze, Buchhändler in Bauzen	2
- Schulze, Buchhändler in Oldenburg . . .	3
- Ernst Sedlaczeks in Wien	1
- And. Spunar, Prof. d. Physik in Przemysl .	1
- Stein, Buchhändler in Nürnberg . . .	1
- Streng, Buchhändler in Frankfurt a/m . .	2
Die Universität-Buchhandlung in Kiel . .	1
Herr Unzer, Buchhändler in Königsberg . . .	2
Die Veith & Riegersche Buchhandlung in Augsburg	1
Herr Friedrich Voigtländer, Mechanikus und Optikus in Wien	1
- Wallis, Buchhändler in Constanz . . .	1
- Wallishauser, Buchhändler in Wien . .	2
- Weber, Buchhändler in Bonn	7
- Wesener, Buchhändler in Paderborn . .	2
- Welzt, Hofrath in Wien	1

Physikalisches Wörterbuch

II. Band.

C und D.



C.

Caementiren.

Caementatio; Cémentation; *Cementation.* Eine chemische Operation, welche den Zweck hat, einen festen Körper, besonders ein Metall, durch Glühen mit einem andern festen Körper, wobei beide nicht in den tropfbar flüssigen Zustand übergehen, chemisch zu verändern. Der letztere Körper, welcher den ersteren in Pulvergestalt umgiebt und mit demselben geschichtet ist, heiſst *Cäment* oder *Cämentpulver.* Beispiele sind das Ueberführen des Eisens durch Glühen mit Kohlenpulver in Stahl; das Umwandeln des Kupfers in Messing durch ein Gemenge aus Zinkoxyd und Kohlenstaub, und das oberflächliche Reinigen des Kupfer- und Silberhaltigen Goldes durch Glühen mit einem Gemenge von gebranntem Eisenvitriol, Kochsalz und Ziegelmehl. Bei den beiden *ersten* Beispielen ist merkwürdig, daſs das durch die Hitze erweichte Eisen und Kupfer allmälig bis in ihr Innerstes vom Kohlenstoff und Zink durchdrungen werden, ohne ihre Form zu ändern. *G.*

Calcium.

Calcium; Calcium; *Calcium.* Ein Metall, welches von H. Davy auf dieselbe Art wie das Baryum und ebenfalls nur in sehr kleiner Menge dargestellt worden ist. Es ist glänzender und weiſser als Baryum, und bei der gewöhnlichen Temperatur fest. Seine wichtigern Verbindungen sind folgende.

Kalk, *Kalkerde* (20,5 Calcium auf 8 Sauerstoff). Das Calcium oxydirt sich schnell an der Luft, bei gewöhnlicher Temperatur ohne, bei höherer mit Feuerentwickelung; es zersetzt das Wasser unter Wasserstoffgasentwickelung, und ver-

wandelt sich hierbei immer in Kalk. Man erhält den reinen Kalk, als gebrannten Kalk, durch Glühen des natürlichen kohlensauren Kalkes. Der reine Kalk ist weifs, erdig, wirkt schwach alkalisch und schmilzt nur in der durch das Knallgasgebläse oder Elektricität hervorgebrachten Hitze. Er verbindet sich mit Wasser unter lebhafter Wärmeentwickelung, die bis zum Entzünden von Schiefspulver und Holz steigen kann, zu *Kalkhydrat*, einem weifsen Pulver, welches in schwacher Glühhitze sein Wasser verliert und sich in ungefähr 600 kaltem und 1200 kochendem Wasser zu *Kalkwasser* auflöst. Die aus der Verbindung des Kalkes mit Säuren entspringenden *Kalksalze* sind den Baryt- und Strontiansalzen ähnlich, doch specifisch leichter. Die auflöslichen werden auch bei grofser Verdünnung (wenn keine überschüssige Säure vorhanden ist) durch Kleesäure und durch kleesaures Kali, ferner, jedoch nur im concentrirten Zustande, durch Schwefelsäure, nicht durch Ammoniak gefällt. Die wichtigsten sind: *Kohlensaurer Kalk* in der Natur sehr häufig als Kalkspath, Marmor, Kalkstein, Kreide, u. s. w. nicht in reinem, aber ein wenig in Kohlensäure haltendem Wasser löslich. *Phosphorsaurer Kalk*; seltener im Mineralreiche als Apatit, häufiger in den Pflanzen und Thieren und daher in den meisten Pflanzenaschen in geringer, in den meisten Thieraschen (besonders in den verbrannten Knochen) in gröfserer Menge vorkommend, nicht im Wasser löslich. *Schwefelsaurer Kalk* im trockenen wasserhaltigen Zustande als Anhydrit und Gyps bekannt, in 460 Theilen Wasser löslich. *Salzsaurer* und *salpetersaurer Kalk*, zwei in Säulen krystallisirende, äufserst zerfliefsliche Salze. Die Verbindungen des Kalkes mit Arseniksäure, Scheelsäure und Kieselerde kommen im Mineralreiche vor, die mit Kleesäure, Weinsäure und vielen andern Pflanzensäuren im Pflanzen- und zum Theil auch im Thierreiche. Mit Chlor und Wasser bildet der Kalk theils ein feuchtes Pulver, Bleichpulver, theils bei mehr Wasser und Chlor eine Flüssigkeit, Bleichflüssigkeit, welche beide zum Bleichen häufig angewendet werden.

Das *Calciumhyperoxyd* ist noch wenig bekannt. Das *Fluorcalcium*, der *Flufsspath* der Mineralogen, findet sich in kleiner Menge auch in thierischen Substanzen, besonders in den Zähnen und Knochen. Das *Chlorcalcium* ist eine weifse

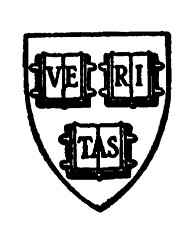
durchscheinende, in der Rothglühhitze schmelzende Masse. Das *Schwefelcalcium* ist der Hauptbestandtheil der durch Glühen von Kalk mit Schwefel erhaltenen Kalkschwefelleber, die mit wässrigen Säuren Hydrothionsäure entwickelt. Das *Phosphorcalcium* verhält sich wie das Phosphorbaryum und wird durch Hinzuleiten von Phosphordämpfen zu in einer Glasröhre glühendem Kalk erhalten. *G.*

Caliber.

Calibre; *Caliber*, *Caliper*; kommt hauptsächlich bei der Artillerie vor, und heifst die Dicke oder der Durchmesser eines runden Körpers, z. B. der Kugeln, oder speciell die Bohrung oder innere Weite der Artilleriestücke (*pièces d' Ordonnance*; *pieces of ordnance*) oder der hierzu gehörigen Kugeln und Bomben.

In der Naturlehre wird der Ausdruck in der Regel nur von hohlen Röhren gebraucht, welche hauptsächlich zu irgend einer Messung dienen sollen, und bezeichnet dann ihre Weite, wobei man den innern hohlen Raum derselben als vollkommen cylindrisch voraussetzt, indem sie sonst in den verschiedenen Theilen ihrer Länge ein verschiedenes Caliber haben müfsten. Es kommt bei den zum Messen anzuwendenden Röhren erstlich darauf an, die innere Weite derselben zu bestimmen, oder zweitens zu untersuchen, ob dieselbe überall gleich ist, welches Letztere gleichfalls Calibriren genannt wird.

1. Das Erstere, welches unter der Voraussetzung vollkommener Cylinderform mit der Bestimmung des inneren Durchmessers der Röhren zusammenfällt, geschieht bei weiteren vermittelst eines gemeinen Cirkels oder besser eines feinen Stangencirkels, bei engeren aber am besten dadurch, dafs man einen Cylinder von hartem Holze, welcher nur wenig verjüngt ist, oder von fest aufgerolltem Papiere genau in die innere Oeffnung pafst, und dann vermittelst eines Tastercirkels oder eines geeigneten Stangencirkels den Durchmesser desselben bestimmt. Für sehr enge Röhren, oder eigentliche sogenannte Haarröhrchen ist auch dieses Verfahren zu wenig genau, und mufs bei diesen der innere Halbmesser durch das Gewicht einer Quecksilbersäule von gegebener Länge bestimmt werden, wie schon





Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

Zweiter Band

C und D.

Mit Kupfertafeln I bis XX.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1826.

Fig. 2 apparat; seine nähere Beschreibung ist folgende: A ist eine Art Korb von Eisendraht geflochten, in welchen der zu prüfende Körper gelegt wird; er ist oben mit einem durchlöcherten Deckel C versehen, und in den blechernen Cylinder B B frei aufgehängt. Der Zwischenraum zwischen Korb und Cylinder wird überall mit zerstoſsenem Eise erfüllt. Das Gefäſs B B ist sodann noch von einem zweiten E E ganz umschlossen, und der zwischen beiden befindliche Raum ebenfalls mit Eis ausgefüllt. Im Gefäſse B befindet sich unten ein eiserner Rost, und unter dieſem ein Drahtsieb, um fortgeschwemmte Eistheilchen aufzuhalten. Etwas tiefer ist der senkrechte Auslauf mit dem Hahn d angebracht, während dem der Abzug aus dem äussern Gefäſse E seitwärts durch den Hahn f statt findet. Auch die Deckel C und D D werden mit zerstoſsenem Eise gefüllt, und so ist der zu prüfende Körper ringsum mit einer doppelten Eiswand umschlossen. Indem er nun im Eisapparat bis auf 0° erkaltet, wird durch die aus ihm frei werdende Wärme ein Theil der innern Eishülle geschmolzen, und das aus dem Hahn d abflieſsende Wasser giebt das Maſs dieser Schmelzung an. Was durch den Hahn f abgeht, ist nur die Wirkung der äuſsern Luftwärme auf die äuſsere Eishülle. Da das Wasser, so lange noch ein Eistheilchen in demselben bleibt, sich nicht über 0° Wärme erhebt, so kann der innern Eishülle niemals einige Wärme von Auſsen her zugeführt werden.

Die Theorie des Calorimeters beruht auf folgendem: Die Menge des vom erwärmten Körper geschmolzenen Eises ist desto gröſser, 1. je gröſser die Masse des Körpers ist, 2. je stärker seine Erwärmung war, und 3. je gröſser das Maſs fühlbarer Wärme ist, das er bei gleicher äuſserer Erkältung absetzt; mit andern Worten: sie ist im geraden Verhältniſs der Massen und Temperaturen der Körper und ihrer Capacität für die Wärme (ihrer specifischen Wärme). Es sind also für die Körper A und a, nach ihren Massen M und m, ihren Temperaturen (zwischen dem Eis- und Siedpunkt des Wassers) T und t, und ihren specifischen Wärmen C und c, die Mengen W und w des geschmolzenen Eises $= MTC$ und mtc, oder $C = \frac{W}{MT}$ und $c = \frac{w}{mt}$. Da hier nur von relativen Bestimmungen die Rede seyn

kann, so ist es nöthig, die specifische Wärme irgend eines bekannten Stoffes als Einheit anzunehmen, und die Eismengen, die von jedem andern Stoffe nach Maſsgabe seiner Masse und Temperatur geschmolzen werden, mit derjenigen zu vergleichen, welche dieser Körper zu schmelzen im Stande ist. Man hat hiefür, wie in manchen andern Fällen, das reine Wasser gewählt, dessen specifische Wärme = 1 gesetzt wird. Zu mehrerer Vereinfachung ertheilt man ihm (wenigstens in der Voraussetzung) eine Wärme, bei welcher es ein ihm gleiches Gewicht von Eis ganz zu schmelzen vermag. Versuche haben gezeigt, daſs dieses bei einer Wärme, welche $\frac{3}{4}$ unsrer Thermometerscale (60° des sogenannten Réaumür'schen oder 75° des hundertheiligen Thermometers) beträgt, statt finde. Durch diese Annahme werden in der Formel die Gröſsen W und M einander gleich, und T = 60° R. oder 75° C.; und wenn C die specifische Wärme des Wassers, c diejenige des zu prüfenden Körpers bezeichnet, so hat man $C : c = \frac{W}{MT} : \frac{w}{mt}$ oder $1 : c = \frac{1}{T} : \frac{w}{mt}$, mithin $c = \frac{T \times w}{mt}$. Für T setzt man die Zahl 75 in die Formel, wenn t in Graden des hunderttheiligen Thermometers gegeben ist; gebraucht man das Réaum. Thermometer, so wird T = 60.

Beispiel. $5\frac{1}{2}$ Pfund Guſseisen bis zur Wärme des Siedepuncts erhitzt, haben 0, 81 Pf. Eis geschmolzen, man hat also $m = 5{,}5$; $w = 0{,}81$; $t = 100$, $T = 75$; mithin die specifische Wärme $c = \frac{75 \times 0{,}81}{100 \times 5{,}5} = \frac{3 \times 0{,}81}{4 \times 5{,}5} = 0{,}1105$.

Ist der zu prüfende Stoff tropfbar flüssig, so schlieſst man ihm in ein Gefäſs ein, dessen specifische Wärme bereits durch Versuche oder Rechnung bestimmt worden ist. Es seyen c', w', m', t' die obigen Gröſsen für dieses Gefäſs, so ist $c' = \frac{75\,w'}{m'\,t'}$, und $w' = \frac{c'\,m'\,t'}{75}$. Bezeichnet man durch U das Resultat der ganzen Schmelzung, so ist derjenige Theil, welcher dem flüſsigen Körper zuzuschreiben ist $= w = \left(U - \frac{c'\,m'\,t'}{75}\right) : mt$, also die gesuchte specifische Wärme $c = \frac{75}{mt}\left(U - \frac{c'\,m'\,t'}{75}\right) = \frac{75\,U}{mt} - \frac{c'\,m'}{m}$, in-

dem die Temperatur des Gefäſses derjenigen der eingeschlossenen Flüssigkeit gleich gesetzt wird.

Beispiel. 4 Pfund Salpetersäure wurden in einem gläsernen Kolben von 0,531 Pf. Gewicht bis zu 100° C. erhitzt, und schmolzen nach einer zwanzigstündigen Abkühlung im Calorimeter 3,664 Pf. Eis. Die specifische Wärme des Glases ist 0,1929. Man hat also hier $U = 3,664$; $m = 4$, $t = 100$, $c' = 0,1929$ $m' = 0,531$, mithin $c = \frac{75 \times 3,664}{4 \times 100} - \frac{0,1929 \times 0,531}{4} =$ $0,68701 - 0,02562 = 0,66139$.

Beim Gebrauch des Calorimeters ist folgendes zu bemerken. 1. Das Eis, mit welchem die Zwischenräume gefüllt werden, muſs ja nicht kälter als 0° seyn. Man thut daher wohl, es vor der Anwendung etwa eine Viertelstunde lang ins Wasser zu tauchen. 2. Es muſs so stark befeuchtet seyn, daſs dasjenige Wasser, welches ein Product der Schmelzung ist, nicht von demselben eingeschluckt werde, sondern sogleich ablaufe. 3. Es darf nicht aus allzukleinen Stücken bestehen, weil diese durch die Wirkung der Capillarität das Wasser zurückhalten könnten. Eben deswegen ist auch der Schnee unbrauchbar. 4. Die Eisstücke dürfen jedoch auch nicht zu groſs seyn, um nicht freie Zwischenräume darzubieten, durch welche die Wärme hindurchstrahlen könnte. Einige rathen an, ihnen die Gröſse einer Nuſs zu geben. Auf jeden Fall wird, da die Gröſse der Stücke, mithin die dem anhängenden Wasser dargebotene Oberfläche immer kleiner wird, etwas mehr Wasser ablaufen, als was das bloſse Product der Schmelzung ist. 5. Die Temperatur des Zimmers, in welchem operirt wird, darf niemals unter 0° seyn; sie darf aber auch nicht mehr als einige Grade über 0° ansteigen, damit nicht die Wärme, welche durch die unvollkommene Verschliessung der Deckel eindringen könnte, das Resultat störe.

Man entgeht einem groſsen Theile dieser Schwierigkeiten, wenn man neben dem Calorimeter, in welches der zu prüfende Körper gebracht wird, einen zweiten, diesem in allen Theilen möglichst gleichen Eisapparat hinsetzt, und abwechselnd den erhitzten Körper erst in den einen, dann in den andern legt. Der Unterschied der aus beiden abgelaufenen Wassermengen giebt

möglichst nahe das reine Resultat der beabsichtigten Schmelzung. Es versteht sich, dafs kein Wasser ablaufen, mithin keiner der Hähne geöffnet werden darf, bis der ganze Versuch, welcher meistens mehrere Stunden dauert, beendigt ist. Eben so ist bei Bestimmung der Temperatur des eingeschlossenen Körpers der Wärmeverlust zu berücksichtigen, welchen derselbe beim Uebertragen ins Calorimeter erleidet. Auch ist zu bemerken, dafs die aus solchen Versuchen abgeleiteten Resultate über die specifische Wärme verschiedener Stoffe[1] nur innerhalb derjenigen Gränzen als richtig anzusehen sind, in welchen jene angestellt wurden (zwischen dem Eis- und Siedepuncte des Wassers), und dafs bei höhern Wärmegraden die Fähigkeit der Körper, Wärme in sich aufzunehmen, wegen Aenderung ihres Aggregatzustandes nicht dieselbe seyn könne.

Das Calorimeter dient nicht nur, die specifische Wärme fester oder flüssiger Körper zu bestimmen, sondern auch die relative Wärme anzugeben, die sich bei der Vermischung verschiedener Flüssigkeiten, bei dem Respirations- und Verbrennungsprocefs und dgl. entwickelt. Für diesen letztern Zweck, namentlich auch für die Bestimmung der specifischen Wärme der Gasarten wird eine umgebogene Röhre in das Innere des Calorimeters hineingeführt. Ungleich bequemer aber ist hierzu das von Rumford vorgeschlagene Calorimeter, bei welchem ein bestimmtes Gewicht Wasser durch den zu prüfenden Körper erwärmt wird.

Das Wassercalorimeter. AA ist ein Kästchen aus dünnem Kupfer, oder aus Weifsblech von 8 Zoll Länge, 4,5 Zoll Breite und eben so viel Höhe. In demselben befinden sich drei kreisförmige Oeffnungen in B, C und D, in welche cylindrische Röhren eingelöthet sind. Die erstere, im Mittelpuncte des Dekkels dient, um das Kästchen mit Wasser zu füllen, und wird mit einem Korkstöpsel verschlossen; in die zweite engere Oeffnung bei C, wird durch einen durchbohrten Kork ein cylindrisches Thermometer gesteckt; die dritte bei D empfängt die Einmündung der Kühlschlange s s, welche das Wesen dieses Apparats ausmacht; diese ist von sehr dünnem Bleche, ihr Querschnitt ist nicht kreisförmig, sondern bildet ein Rectangel von

Fig. 8.

1 Vergl. *Wärme, specifische*.

$\frac{1}{2}$ Zoll Höhe und $1\frac{1}{2}$ Zoll Grundlinie am Eingang, und 1 Zoll am Ende der Schlange. Sie macht in horizontaler Ebene mit halbkreisförmiger Wendung drei Gänge durch das Kästchen, und steht vom untern Boden überall zwei Linien weit ab.

Bei D ist sie mit einem Cylinder c von 1 Zoll Durchmesser und 1 Zoll Länge verbunden, in welchen der umgekehrte Trichter f hineingesteckt wird, bestimmt, die Wärme verbrannter Stoffe aufzufangen. Das Kästchen A A ist an seinem Rande in einen hölzernen Rahmen m m eingelassen, der auf vier dünnen Füſsen steht, um jeden Abzug von Wärme durch Berührung so viel als möglich zu verhindern.

Das Gefäſs des bei C eingesteckten Thermometers ist ein Cylinder von dünnem Glase, zwey Linien weit, und 4 Zolle hoch, so daſs er die Temperatur der verschiedenen Wasserschichten vereint angiebt.

Rumford hatte anfangs zwei solcher Apparate dergestalt mit einander verbunden, daſs das Ende der Kühlröhre des Erstern in die Einmündung derjenigen des zweiten Recipienten übertrat. Ein Versuch, den er über die beim Verbrennen eines Wachslichtes entwickelte Wärme anstellte, bei welcher das Wasser der Hülfrecipienten um keinen vollen Grad erwärmt wurde, während dem die Temperatur des Hauptgefäſses von 10° R. bis auf 32° R. sich erhob, bewog den Erfinder, das zweite Gefäſs als unnütz wegzulassen, was um so unbedenklicher geschehen konnte, da er aus andern Gründen sich vorgenommen hatte, die Erwärmung nicht bis auf diese Höhe steigen zu lassen. Es trat nehmlich bei diesem Calorimeter ein Umstand ein, für welchen bei Lavoisiers Apparat bereits gesorgt war, die Einwirkung der äuſsern Luft auf den Recipienten, und Wärmestrahlung seiner Oberfläche. Rumford half diesem auf eine Art ab, die eines so gewandten Experimentators würdig ist und die ihn zu dem Ausspruch berechtigte, daſs bei solchen Untersuchungen es besser sey, den Fehlern der Methode entweder ganz auszuweichen, oder sie durch ein entgegengesetzes Verfahren zu compensiren, als auf ihre Berechnung zu bauen. Er erkältete nämlich das Wasser des Recipienten, und somit auch seine Wände selbst *unter* die Temperatur der umgebenden Luft, und endigte den Versuch, wenn die Wärme des Wassers die Temperatur der Luft um eben so viel Grade überstieg, als

sie zu Anfang unter derselben gewesen war. So wurde in der zweiten Hälfte der Versuche das Calorimeter durch die Luft um eben so viel erkältet, als es in der ersten erwärmt worden war.

Die Wände des Calorimeters nehmen die Temperatur des eingeschlossenen Wassers an, mithin wird ein Theil der Wärme, durch welche die Temperatur des Letzern erhöht wird, auch auf jene verwendet. Man kann dafür leicht Rechnung tragen, indem man die Wassermenge sucht, welche der Masse des Instruments und seiner specifischen Wärme entspricht. Diese Quantität ist gleich dem Gewicht des Calorimeters, multiplicirt mit der specifishen Wärme des Stoffes, aus welchem es verfertigt ist, dividirt durch die specifische Wärme des Wassers. Wäre z. B. das Gewicht des Kästchens von Eisenblech 400 Grammen, so ist die specifische Wärme dieser Substanz nach Lavoisier = 0,11, diejenige des Wassers gleich 1 gesetzt, mithin müfste bei Berechnung der Versuche die Wassermenge des Calorimeters noch um die constante Gröfse von $400 \times 0,11$ d. i. um 44 Grammes vergröfsert werden.

Die Angaben dieser Calorimeter lassen sich leicht auf diejenigen des vorhin beschrieben Eisapparats reduciren, wenn man die von verbrennlichen Stoffen bewirkte Erwärmung des Wassers mit der Wärme vergleicht, die erfordert wird, um ein Quantum Eis vom nämlichen Gewicht zu schmelzen. Diese beträgt drei Viertheile unsrer Thermometerscale. Die Wassermasse im Calorimeter mufs also mit ihrer Erwärmung eben so viel ausmachen, als ein zu suchendes Quantum Wasser, das 75° warm wäre; oder, wenn t die beobachtete Erwärmung nach 100 theiligen Graden, C den Wasserinhalt des Calorimeters nach Grammen oder Pfunden, E das Quantum geschmolzenen Eises, (oder Wassers von 75° Wärme) nach dem nämlichen Gewicht, wie das Calorimeter bezeichnet, so mufs $C \times t$ gleich $E \times 75$ seyn. Es folgt hieraus $E = \frac{C \times t}{75}$, und wenn die Temperatur des Wassers nach Réaumür-Graden bestimmt wurde, $E = \frac{C \times t}{60}$. Richtet man das Volumen des Calorimeters so ein, das sein Wassergehalt mit Einschlufs desjenigen Quantum, welches der specifischen Wärme des Gefäfses entspricht, in einer Gewichtegattung durch eine Zahl ausge-

drückt werde, welche zu 60 oder 75 ein einfaches Verhältnifs hat, so wird die Rechnung noch einfacher. Wäre z. B. das Gewicht der Wassermasse des ganzen Instruments = 6000 Grammen, so wäre bei dem Gebrauch des Réaumürschen Thermometers $\frac{C}{60} = 100$ und so würde das hundertfache der beobachteten Erwärmung die Menge von Eis ausdrücken, welche durch die, bei dem Versuch angewendete Substanz in eben der Zeit geschmolzen worden wäre. Da die beim Versuch aufgewandte Substanz nach dem nämlichen Gewichte angegeben wird, so mufs der gefundene Werth von E noch durch das Gewicht derselben dividirt werden, um diejenige Menge Gewichtstheile Eises zu erhalten, welche Ein Gewichtstheil dieser Substanz zu schmelzen vermag. Setzt man das gebrauchte Gewicht der Substanz = A, so wird endlich $E = \frac{C \times t}{75\ A}$ oder wenn das Gewicht des Wassers dividirt durch 60 oder 75 einen constanten Werth = M ausmacht $E = \frac{M \cdot t}{A}$.

Beispiel. Versuch mit weifsem Wachs.[1] Temperatur des Zimmers = 61° F. = 12°,87 R. Temperatur der 2781 Grammen Wasser, womit das Calorimeter angefüllt wurde, einschliefslich der der specifischen Wärme des Instruments entsprechenden Wassermenge = 56° F. = 10°,67 R. Ein Wachslicht, das unter der Mündung des Kühlrohres stand, wurde angesteckt, und als das Thermometer des Instruments genau 66° F. = 15°,11 R. erreicht hatte, also um 10° F = 4°,44 R. gestiegen war, ausgelöscht. Darüber waren 13′ 26″ hingegangen, und das Wachslicht hatte 1,63 Grammen an Gewicht verloren. Es ist also hier C = 2781, t = 4,44; A = 1,63; also M = 46,35; $\frac{t}{A} = 2,726$; und E = 126,36 d. i. die Hitze, die aus einem Gewichtstheil Wachs erzeugt wird, ist vermögend 126, 4 gleicher Gewichtstheile Eis zu schmelzen, also 1 Pf. Wachslichter 126 Pfunde Eis.

Auf eben den Grundsätzen beruhte das Calorimeter, dessen sich zwei französische Physiker Laroche und Berard bedien-

[1] Rumford bei G. XLIV. 12.

ten, um die specifische Wärme der Gasarten auszumitteln. Es bestand aus einem Cylinder von dünnem Kupferblech, 5½ Zoll hoch, und 8 Zoll im Durchmesser, in welchem eine spiralförmig gewundene Kühlröhre, deren ganze Länge bis auf 8 Fuſs gehen mochte, sich hinaufwand. Das Thermometer hatte einen Cylinder von der Höhe des Gefäſses, und war so empfindlich, daſs es 0,02 eines Grades angab. Um mit einem mäſsigen Quantum Gas einen anhaltenden Strom durch das Calorimeter zu leiten, bediente man sich zweier Gasometer, aus deren einem abwechselnd die Luft in das andere getrieben wurde. Bevor sie durch das Calorimeter ging, muſste sie eine Röhre von mehr als 8 Fuſs Länge durchwandern, die mit einer zweiten, weitern Röhre umgeben war, durch welche beständig heiſser Wasserdampf strömte. Um die Operation zu beschleunigen, wurde das Calorimeter, dessen Inhalt mit Inbegriff der metallenen Hülle einer Wassermasse von 596,8 Grammen gleich war, vorher durch eine Weingeistlampe nahe bis zu derjenigen Temperatur erwärmt, welche die Wirkung des Gases demselben im Maximum zu ertheilen vermochte. Alsdann beobachtete man die Zunahme der Erwärmung von 10 zu 10 Minuten. Da aber diese in der Nähe des Maximums noch zu langsam vor sich ging, so würde, wenn das Thermometer noch um einige Zehntel gerade unter der stationären Höhe war, die Temperatur des Calorimeters durch Annäherung eines erhitzten Körpers ein wenig über das Maximum hinaufgebracht, und nachher der Gang der allmäligen Erkältung des Instruments alle 10 Minuten notirt, und der Versuch geschlossen, wenn die Langsamkeit der Aenderung des Thermometers zeigte, daſs man der stationären Höhe in absteigender Richtung eben so nahe war, als vorher in aufsteigender. Die Erwärmung mochte ungefähr 16 bis 20 hunderttheilige Grade betragen, während dem das Gas etwa 70 Grade verlor. Für andere zufällige Quellen der Wärme, z. B. die Mittheilung durch die Leitungsröhren wurde sorgfältig Rechnung getragen, und eben so für die äuſsere Erkältung des Apparats[1].

---

1 J. de Ph. LXXVI. 155. Von ähnlicher Beschaffenheit ist der Apparat, vermittelst dessen Despretz die latente Wärme der Dämpfe maſs. Vergl. *Dampf, latende Wärme desselben.*

Die Einfachheit und Bequemlichkeit des *Wassercalorimeters* bewog seinen ersten Erfinder, dasselbe auch auf die Prüfung tropfbar flüssiger Stoffe anzuwenden. Er gebrauchte statt des Kühlrohres ein kleines Fläschchen aus dünnem Kupferblech, welches, mit der zu prüfenden Substanz gefüllt, in das Wasser des Calorimeters getaucht wurde. Rumford hatte ihm zur Vergröfserung der Oberfläche die Form eines doppelten Kreuzes gegeben, es wog nur 76 Grammen; und seine specifische Wärme war der von 8,36 Gr. Wasser gleich. Es wurde durch einen langen Kork verschlossen, der zugleich als Handhabe diente, um beim Eintauchen desselben die Hand vom Wasser hinreichend entfernt zu halten. Das Wassergefäfs ebenfalls aus Kupferblech, war ein offener Cylinder von 2 Zoll Durchmesser, und 4¼ Höhe, nur 74,65 Grammen an Gewicht, und mit Einschlufs seines Thermometers an specifischer Wärme 24,3 Grammen Wasser gleich. Es stand in einem gröfsern Cylinder, und der Zwischenraum zwischen beiden war mit Eiderdunen ausgefüllt, um den Wärmeverlust durch Ausstrahlung zu hindern. Das Fläschchen mit der Flüssigkeit wurde nun eine geraume Zeit in einen grofsen Eimer Wasser getaucht, dessen Wärme von derjenigen des Zimmers wenig verschieden war, und nachher so schnell als möglich in den Cylinder übergetragen. Den Gang der Rechnung zeigt folgender *Versuch mit gereinigtem Rübsamenöl.* Wassermasse im Cylinder = 180 Gram. bei 15, 28 C. Wärme. Temperatur des Wassers im Eimer 6°, 94 C. Masse des Oels im Fläschchen = 82, 55 Gram. von eben der Temperatur. Nach 3 bis 4 Minuten fiel das Thermometer im Cylinder auf 13°, 75 C. blieb da eine geraume Zeit stehen, und fing dann wieder an zu steigen. Das Wasser im Cylinder war also um 1°, 53 C. erkältet, das Oel im Fläschchen um 6°, 81 C. erwärmt worden.

Man hat nun 180 + 24,3 Gram. = 204,3 Gr. Wasser multiplicirt mit 1°,52 C. Erkältung = 312,58 Gram. Wasser von 1° C. Wärme. Das Oelfläschchen hatte folglich durch das Eintauchen sich so viel Wärme angeeignet, als nöthig ist, um 312, 58 Gram. Wasser um 1° zu erwärmen. Dagegen hatte seine eigene Temperatur um 6°, 81 C zugenommen. Um die Erwärmung des Oels besonders zu haben, mufs man die Erwärmung des leeren Fläschchens, dessen specifische Wärme mit den vom Ein-

tauchen ihm anhängenden Wasser auf 9,4 Gr. Wasser zu schätzen ist, aus dem Resultat ausscheiden. Sie beträgt 9,4 × 6,81 = 64, 01 Gr. Wasser von 1° C, Wärme. Man hat also 312,58 — 64, 01 = 248,57 Gram. Wasser von 1° C Wärme, welche die Temperatur von 82, 55 Grammen Oel um 6°,81 C erhöht haben. Jene 248, 57 Grammen Wasser von 1° C, sind aber gleich 36,5 Gram. Wasser von 6°, 81 Wärme. Da nun bei gleicher Temperatur die specifischen Wärmen sich umgekehrt wie die Massen verhalten, so hat man für die specifische Wärme des Oels 82, 55: 36, 5 = 1: 0,442. Andere Versuche gaben sie 0, 452.

Bei einer Darstellung der verschiedenen Bemühungen, die specifische Wärme der Körper zu bestimmen, dürfte es nicht am unrechten Orte seyn, auch einer Methode zu erwähnen, die, wenn sie auch nicht ein eigentliches calorimetrisches Werkzeug darbietet, doch nicht minder genaue Angaben über die specifische Wärme geliefert hat. Das Element der Vergleichung ist hier nicht die *Wärme* selbst, welche der zu prüfende Körper dem umgebenden Fluidum abgiebt oder entzieht, sondern es ist die *Zeit*, in welcher der Wärmeumtausch vor sich geht. Die erste Idee dieser Methode verdanken wir dem Prof. Mayer in Göttingen, welcher fand, dafs die Geschwindigkeiten, mit welchen verschiedene Stoffe unter gleichen äufsern Umständen sich erkälten, ihren specifischen Wärmen proportional seyen. Die Versuche von Leslie, Boeckmann, und die von Dülong und Petit haben seither ihre Zweckmäfsigkeit ganz aufser Zweifel gesetzt. Sie ist jedoch hauptsächlich zwei Schwierigkeiten unterworfen: nämlich erstens, der Ungleichheit des Wärmeverlustes, die durch das verschiedene Ausstrahlungsvermögen der Oberfläche entsteht, und zweitens, der verschiedenen Geschwindigkeit, mit welcher der Wärmezuflufs aus dem Innern des Körpers an seine Oberfläche, je nach seinem Leitungsvermögen, vor sich geht. Die beiden letztern Physiker verwahrten sich gegen diese Fehler dadurch, dafs sie erstlich alle festen Substanzen in pulverisirtem Zustand in einen sehr *kleinen* Cylinder von dünnem Silberblech einschlossen, der ein empfindliches Thermometer enthielt; dafs sie zweitens die Stoffe höchstens 10 Grade über die Temperatur der Atmosphäre er-

wärmten, und drittens, dafs sie die Erkältung nicht in der freien Luft sondern in einem inwendig geschwärzten, rings um mit schmelzendem Eise umgebenen Behälter vor sich gehen liefsen, in welchem die Luft bis auf die Spannung von ein Paar Millimeter verdünnt worden war. Dadurch wurde der Gang der Erkältung so langsam, dafs nicht nur die Einwirkung der verschiedenen Leitungsfähigkeit beseitigt, sondern auch bei der Feinheit des Thermometers, das halbe Hundertheile eines Grades erkennen liefs, die Momente der verschiedenen Erkältungsgrade mit grofser Genauigkeit sich angeben liefsen.

Das Rumfordsche Calorimeter, das, wie Biot bemerkt, eine vervollkommnete Anwendung der Theorie der Mischungen ist, läfst sich auch nach dem Obigen mit Nutzen zur Bestimmung des Wärmegrades erwärmter Körper gebrauchen. Wenn man z. B. in ein Gefäfs mit Wasser ein erhitztes Stück Metall legt, so wird es dem Wasser so viel Wärme mittheilen, als dieses nach seiner Masse und seiner Wärme-Capacität aufzunehmen fähig ist; dergestalt, dafs wenn t die Temperatur des erhitzten Körpers, m seine Masse, und c seine specifische Wärme bedeutet, T, M und C ebendieses für das Wasser bezeichnen, t. m. c = T. M. C; woraus sich die Temperatur $t = \frac{T\,M\,C}{m\,c}$ ergiebt.

Beispiel. Ein Kilogramm Eisen beinahe bis zur Schmelzhitze erwärmt, wurde in 9,615 Kilogrammen Wasser abgekühlt, und die Temperatur des Letztern dadurch um 20 hunderttheilige Grade gehoben. Könnte man annehmen, dafs die specifische Wärme des Eisens bei allen Temperaturen die nämliche sey, so hätte man c = 0, 11; C = 1; m = 1; M = 9,615; T = 20; mithin $t = \frac{20 \times 9{,}615}{0{,}11.} = 1749$ hunderttheilige Grade, für die Temperatur des Eisens nahe an der Schmelzhitze. Ueberhaupt ist das Calorimeter zur Schätzung von Wärmeentwickelungen jeder Art, die durch Verbrennen, Athmen, Mischung flüfsiger Stoffe vor sich gehen, ein sehr brauchbares Werkzeug. Die wichtige Rolle, welche die Lehre der specifischen Wärme in der Erforschung der innern Beschaffenheit der Körper spielt, erhebt dasselbe in den Rang derjeni-

gen Instrumente, welche der Physik die wesentlichsten Dienste geleistet haben [1].

Gas-Calorimeter, nannte Tilloch einen Wärmemesser, ein Thermoskop, vermittelst dessen er die Wärme messen will, welche durch Verdichtung der Luft frei, und durch Verdünnung derselben gebunden wird. Die thermoskopische Substanz ist eine gefärbte Flüssigkeit in einem hohlen metallenen Gefäfse, welches ein anderes, gleichgeformtes, etwas kleineres umschliefst. Im letzteren wird die Luft durch Quecksilber zusammengedrückt, und theilt die entbundene Wärme der Flüssigkeit im erstern mit, deren Ausdehnung durch das Aufsteigen in eine Thermometerröhre gemessen wird. Indem in den Apparat nur mit Mühe, oder überhaupt nicht verschiedene Gasarten gebracht werden können, derselbe ohnehin für feine Temperatur-Unterschiede zu voluminös und im Allgemeinen zu sehr zusammengesetzt ist, so erfüllt er hienach die Erfordernisse eines zweckmässigen physikalischen Apparats keineswegs, und verdient daher keine weitere Beachtung [2].

Der Name *Calorimeter* bezeichnet nicht nur die erwähnten Werkzeuge zur Bestimmung des Wärmegehaltes verschiedener Körper, sondern ist auch einem Instrumente zu Theil geworden, das mehr für ökonomische, als für wissenschaftliche Zwecke bestimmt ist. Es wurde von Montgolfier angegeben, um die Hitze zu bestimmen, welche verschiedene Brennstoffe in einer gewissen Zeit hervorbringen. In einem Cylinder von Kupfer oder Holz befindet sich eine Art Ofen, in Gestalt eines an beiden Enden abgestumpften Doppelconus, in dessen mittlerer Grundfläche ein Rost für die Aufnahme des

---

1 Man sehe hierüber: In Biots Lehrbüchern der Physik das Capitel von Calorique latent, im Dictionnaire technologique den Artikel Chaleur von Clément, die oben erwähnte Abhandlung Rumfords in Gilberts Annalen. XLIV. 1. XLV. 1. die von Petit und Dülong in den Annales de Chim. X. pag. 395, und von Laroche und Berard, im Journal de Physique 1813. Tom 76. pag. 155. Leslie's Experimental Inquiry into the nature and propagation of heat. London. 1804. I. T. Mayer über die Modification des Wärmestoffs. Boeckmann, Versuch über die Wärmeleitung verschiedener Körper. 1812.

2 Phil. Mag. VIII. 216 Vergl. Scherers J. VII. 433.

Brennstoffes liegt. Die untere Oeffnung dieses Conus tritt durch den Boden des mit Wasser angefüllten Cylinders hinaus, um dem Ofen frische Luft zuzuführen; die obere endigt sich in ein rechtwinklicht umgebogenes horizontal fortlaufendes Rauchrohr, welches zur vollständigen Benutzung der Wärme noch mit einem weitern Rohre umgeben ist, das, mit Wasser angefüllt, mit dem Wasser des Cylinders in Verbindung steht. So ist also der Ofen ganz mit Wasser umgeben, und alle in demselben entwickelte Wärme wird auf die Erhitzung des Letztern verwendet. Nachdem man durch ein am obern Ende des Conus angebrachtes verticales Rohr, das nach Volumen oder Gewicht bestimmte Brennmaterial hineingeworfen und angezündet hat, braucht man nur den Moment abzuwarten, da das Wasser ins Kochen geräth. Das Feuer wird nun sogleich ausgelöscht, und die Quantität des verbrauchten Brennstoffes bestimmt. Sobald der Apparat wieder auf die vorige Temperatur heruntergekommen ist, kann zu einem zweiten vergleichenden Versuche mit einem andern Brennmaterial geschritten werden.

Gegen diese Einrichtung hat der königl. Fabrik-Commissär May in Berlin verschiedene Einwendungen gemacht, die hauptsächlich in folgendem bestehen:

1. Da der Cylinder oben ganz verschlossen, auch kein in das Wasser reichendes Thermometer angebracht ist, so hält es schwer, den Moment, wo das Kochen eintritt, wahrzunehmen. Das Herauslassen von Wasser aus dem oben angebrachten Hahn, und die Prüfung desselben mit dem Thermometer (nach des Erfinders Vorschrift) ist zu weitläufig und ungewifs.

2. Die gänzliche Umschliefsnng des Ofens vom Wasser macht es unmöglich, das Brennmaterial ordentlich einzulegen, oder überhaupt sich zu überzeugen, daſs es gut brenne, auch kann, da keine Schieber zur Abschliefsung des Luftzuges angebracht sind, das Feuer nicht schnell genug gelöscht werden.

3. Läſst sich aus dem unverbrannten Rest des Brennstoffes die Quantität des Verbrauchten nicht mit Sicherheit bestimmen, weil der Rückstand wegen gänzlich veränderter Beschaffenheit keine Vergleichung mit dem rohen Material gestattet.

Nur durch gänzliche Verzehrung des Brennstoffes läſst sich,

nach des Verfassers Ansicht, die einem gewissen Quantum zukommende Wärme-Entwickelung bestimmen. Das beste Mittel, sie zu messen, bietet die durch die Siedhitze beschleunigte Verdünstung des Wassers dar; um diese mit Genauigkeit zu bestimmen, giebt MAY seinem *Brennkraftmesser* folgende Einrichtung:

AA ist der cylindrische Wasserbehälter von Kupferblech, oben offen, unten bei d d umschliefst er wasserdicht den Ofen B, dessen unterer Theil b b d d cylindrisch ist. Bei t ist daselbst eine kleine Thüre mit einem Schieber angebracht, um nach dem Feuer sehen zu können, das auf dem Roste b b liegt. Der Trichter a a ist bestimmt, die Asche in ein untergesetztes Gefäfs abzuleiten. Aus B geht der Rauch durch das spiralförmig gewundene Zugrohr r r, und entweicht nach erfolgter Abkühlung durch das senkrechte Rohr p. Die Kappe q kann zur Reinigung des Rohres weggenommen werden. Seitwärts am Wasserbehälter befindet sich, in Verbindung mit demselben, die aufrechte Röhre f, die oben bei l in einen Cylinder von 2 bis 3 Zoll Durchmesser sich erweitert, der nöthigen Falls von Glas seyn kann, und mit einer Scale versehen ist. Bei o wird die Röhre f durch eine Klappe verschlossen, welche vermittelst des Wagebalkens i k durch den hohlen, kupfernen Schwimmer s, (von cylindrischer oder sphärischer Form) geöffnet werden kann. Durch den Hahn h wird das Wasser des Behälters AA abgelassen. Nachdem der Behälter mit Wasser so weit angefüllt ist, dafs die Röhre r r davon bedeckt ist, wird die vollständige Füllung durch den Cylinder l bewerkstelligt: so wie das Wasser so weit angestiegen ist, dafs es den Schwimmer s zu heben vermag, schliefst sich die Klappe o; und öffnet sich nur, wenn durch Verdünstung des Wassers der Schwimmer gesenkt wird. Hat man beim Anzünden des Brennmaterials, und nach völliger Verzehrung desselben, den Stand des Wassers im Gefäfse l genau notirt, so erhält man das Quantum der Verdunstung, mithin auch nach Anbringung der nöthigen Correctionen für dasjenige, was in der gegebenen Zeit auch ohne Erwärmung verdunstet wäre, für die Einwirkung des Feuchtigkeitszustandes der Luft, für barometrischen Druck und Luftzug und Radiation des Gefäfses das relative Resultat der Wirkung des angewendeten Brennstoffes. Doch möchte es bei Versuchen dieser Art meistens zulässig seyn,

Fig. 4.

mit Beseitigung dieser Kleinigkeiten nur die Menge des verdunsteten Wassers durch das Product aus Brennmaterial und Zeit zu dividiren. Beim Versuche hat der Beobachter folgendes in Acht zu nehmen; 1. den kubischen Inhalt des zu verwendenden Brennmaterials, und auch sein Gewicht zu bestimmen; 2. zu bemerken, ob es mit, oder ohne Flamme brenne, auch ob es viel oder wenig Kohlen oder Rufs gebe; 3. die Zeit, die bis zum Sieden verfliefst, zu bestimmen; 4. die Menge des verdampften Wassers; 5. die dazu verwendete Zeit; 6. die Quantität der zurückgebliebenen Asche und Kohlen; 7. den Stand des Barometers; 8. den Stand des Thermometers. Da bei der Kleinheit des Ofens nur wenig auf einmal verbrannt werden kann, so mufs fleifsig nachgeworfen werden, damit der Ofen immer gleich gefüllt bleibe [1]. *H.*

Camera lucida.

Chambre claire; *Camera lucida.* Ein sehr sinnreiches, und bequemes optisches Instrument, das wie die Camera obscura zum Abzeichnen der Gegenstände nach der Natur dient, aber von dieser gerade dadurch wesentlich sich unterscheidet, dafs kein eingeschlossener Raum, keine Camera dabei ist. Es wurde im Jahr 1809 von Dr. Wollaston erfunden und mit dem erwähnten Namen bezeichnet [2]. Seine Einrichtung beruht auf folgendem: Wenn man vor einem Tische stehend durch eine Glastafel, die um 45° gegen den Horizont geneigt ist, auf ein, auf dem Tische liegendes Papier sieht, so wird man das Bild der vorliegenden Gegenstände mit dem Papier und einer hingehaltenen Bleifeder vereint erblicken, so dafs man mit dieser alle

---

1 Siehe über Montgolfiers Calorimeter das Journ. des Mines Vol. XIX. pag. 67. Gilb. Ann. Bd. 35. pag. 484. und Gehlens Journ. f. Chem. und Physik. Band II. pag. 717. 1806. Eine Beschreibung des von May vorgeschlagenen Brennkraftmessers giebt Hermbstädt in seinem Archiv d. Agriculturchemie. 3 Bd. pag. 231. und in seinem Bulletin des Wissenswdgsten. etc. Band V. pag. 193.

2 Schon früher hat Dr. Hooke eine aufser Gebrauch gekommene camera lucida angegeben, eine Vorrichtung, um helle Bilder von Gegenständen bei Tage oder bei Nacht auf einer Wand darzustellen. S. Phil. Trans. N. 38. p. 741.

scheinbaren Umrisse nachzeichnen kann. Allein die umgekehrte Lage des Bildes ist der deutlichen Auffassung hinderlich, und jede Verrückung des Auges muſs die Umrisse auf eine andere Stelle des Papiers bringen. Beiden Mängeln hat WOLLASTON auf eine äuſserst glückliche Weise abgeholfen. Indem er das Bild zweimal reflectiren lieſs, erschien es wieder in aufrechter Stellung, und der Winkel von 45°, unter welchen die spiegelnde Ebene a b geneigt war, wurde nun auf die zwei kleinern Spiegelflächen a c und b c vertheilt, und in einer Deckplatte d d über der Kante a ein kleines Loch zum Durchsehen angebracht, wodurch auch die unverrückte Stellung des Auges gesichert wurde. Die ganze Landschaft ist nun auf die Fläche a e zusammengedrängt, und ihre Projection nimmt nur die Breite eines schmalen Streifens = f c ein. Bei durchsichtigen Glasflächen ist die Spiegelung schwach, und wegen der gedoppelten Bilder leicht undeutlich: man müſste also metallene Spiegel gebrauchen; da aber diese undurchsichtig sind, so muſs man die Oeffnung im Deckel so verschieben, daſs, wenn das Auge in der Richtung O e steht, die Oeffnung der Pupille durch die Kante a halbirt wird. Dadurch empfängt das Auge zugleich sowohl die Strahlen, die vom Bilde auf a e als auch die, welche von der unterliegenden Papierfläche direct ihm zugesendet werden. Die Bilder beider Gegenstände vermischen sich im Densorium, und so kann der Beobachter die Umrisse des Gegenstandes mit der Bleifeder deutlich und genau verfolgen. Statt der Metallspiegel gebrauchte WOLLASTON ein gläsernes Prisma a b c e, dessen Flächen die Strahlen m n, n o, o p, welche unter einem Winkel von 22 bis 23 Graden auffallen, nicht mehr durchlassen, sondern ohne Lichtverlust reflectiren. Das Ganze kann wegen der Nähe des Auges äuſserst eng zusammengefaſst werden, so daſs ein Prisma, dessen Flächen nur 3 Linien Breite haben, seinem Zwecke vollkommen genügt. Die Entfernung des Prisma von der Papierfläche hängt von der Grösse ab, in welcher man das Bild entwerfen will; sie sollte jedoch nicht über 1½ Fuſs, und nicht unter ½ Fuſs betragen: die erstere Distanz wird durch die Länge des Armes bedingt, welcher der freien Bewegung wegen, nicht ganz ausgestreckt seyn darf, wobei wegen der vorgeneigten Lage des Kopfes das Auge in die Höhe der Schulter zu stehen kommt; der letztere

Fig. 5.

Fig. 6.

Abstand liefert allzukleine Bilder, bei welchen die Umrisse nicht mit der nöthigen Schärfe gegeben werden können. Kurzsichtige müssen vorne, am Prisma bei v ein für ihr Auge passendes Concavglas anbringen; weitsichtige ein convexes unterhalb desselben, bei x, um die Spitze der Bleifeder deutlich zu erkennen. Die Art, wie beide Gläser am Prisma angebracht sind, ist aus Fig. 7 zu ersehen. Die Deckplatte hat rechts einen über das Prisma hinausragenden Stiel, mit welchem sie um das Schräubchen x als Axe gedreht werden kann. Sie ist der eigentliche Regulator dieser kleinen Maschine. Durch einen leichten Anstofs mit dem Finger wird die Oeffnung verschoben, dafs, je nach Bedürfnifs mehr Strahlen vom Bilde in's Prisma, oder mehr vom Papier in's Auge gelangen. Der Arm, an welchem das Prisma festgemacht ist, steckt in einer cylindrischen Röhre von etwa 10 Zoll Länge, und dient als Verlängerung desselben. Als Fufsstück dient ein Klotz Messing, in welchem die Röhre eine Zapfenbewegung hat, um ihr die erforderliche Neigung geben zu können.

Fig. 7.

Statt des Klotzes pflegte man auch eine etwas plump ausgefertigte messingene Schraubzwinge zu gebrauchen, mit welcher das Instrument an einen Tisch oder an ein Bret angeschraubt werden kann.

Die Camera lucida ist für die Liebhaber der Landschaftzeichnung ein ungemein brauchbares Hülfsmittel. Sie dient auch dem geübtern Künstler zur schnellern Anordnung und Eintheilung seiner Bilder, und ist namentlich zur schnellen Entwerfung von Panoramen (Rundansichten) äufserst bequem. Besonders wichtig ist sie für die Darstellung von Architecturgegenständen, indem sie alle Theile in ihrer gehörigen Verkürzung, gerade so, wie man sie auf eine durchsichtige verticale Tafel zeichnen würde, giebt; eben so treffliche Dienste leistet sie bei Abbildungen von Instrumenten; ein fertiger Zeichner kann sie sogar zur Entwerfung menschlicher Profile gebrauchen. Sie ist überhaupt eine allgemeine Copirmaschine für Zeichnungen. Man braucht das Original nur in einer geringen Entfernung vom Prisma in guter Beleuchtung aufzuhängen, um jeden Contur wiederzugeben; die Gröfse der Copie hängt von der relativen Entfernung ab, die das Prisma vom Tische und von der Zeich-

nung, die man copiren will, erhält. Doch darf bei allen diesen Anwendungen nicht vergessen werden, dafs das Feld, in welchem die Abbildungen genau ausfallen, ziemlich beschränkt ist, und es hält z. B. schwer, ein Quadrat, oder einen Kreis genau zu copiren. Es gründet sich dieses auf die allgemeinen Regeln der perspectivischen Entwerfung, denen zufolge der Winkel, den die Gränzen eines Bildes im Auge des Beobachters machen, nicht viel über 30 Grade betragen darf, wenn die vom Mittel entferntern Gegenstände nicht verzerrt werden sollen. Im Ganzen nehmen die Bilder, welche die Camera lucida liefert, etwa den Raum eines Quartblattes ein; allein nur ein Viertheil dieses Raumes, der diejenigen Gegenstände abbildet, welchen das Instrument gerade gegenübersteht, bildet sie in gleicher Ausdehnung ab.

Beim Gebrauch hat man vorzüglich darauf zu sehen, dafs man den Kopf hinreichend vorwärts neige, ganz senkrecht hinunter sehe, und das Auge möglichst nahe auf das Prisma halte: auch ist es nicht undienlich, das Prisma dergestalt um seine Axe zu drehen, dafs die Kante a c beinahe in lothrechte Richtung komme, wodurch ihre Entwerfung noch schmaler wird, und die Bilder noch mehr der Kante a genähert werden. Gehörige Verschiebung des Regulator d, für jeden einzelnen Gegenstand, je nach seiner Beleuchtung, hauptsächlich aber fleissige Uebung, machen bald die Schwierigkeiten verschwinden, durch welche mehrere Personen vom Gebrauch dieses nützlichen Instruments abgeschreckt worden sind.

Die Camera lucida läfst sich auch bequem bei Mikroskopen und Teleskopen anbringen, um vergröfserte Gegenstände zu entwerfen. Nur mufs die Röhre des Erstern eine horizontale Lage erhalten. Man kann das Prisma nur mit etwas Wachs an die äufsere Blendung des Oculars kleben, oder überhaupt so befestigen, dafs es um seine Längenaxe sich drehen lasse, und vor dem Ocular auf und nieder geschoben werden könne. Bei Gegenständen, wo die aufrechte Stellung nicht wesentlich ist, kann man auch bequem irgend eine schmale reflectirende Fläche, die unter etwa 45° geneigt ist, gebrauchen; so verfertigte Sömmerring seine Zeichnungen der durchs Microscop vergröfserten Bestandtheile der Augen von Menschen und Thieren mit Hülfe

eines wohlpolirten Stahlplättchens, das die Deckplatte der Unruhe einer Taschenuhr gewesen war [1].

Eben so kann man zur vergröſserten Entwerfung einer Landschaft entweder die unter 45° geneigte durchsichtige Glasfläche, oder einen an seiner Kante schräg abgeschnittenen gröſsern oder kleinern Metallspiegel vor das Ocular eines astronomischen, also verkehrt darstellenden, Fernrohrs, z. B. eines Kometensuchers anbringen, wodurch man sowohl an Vergröſserung des Bildes, als auch an Ausdehnung des Gesichtsfeldes gewinnt.

Der durch verschiedene sinnreiche Erfindungen in der praktischen Optik bekannte Profeſsor Amici in Modena hat im Jahr 1816 noch andere Einrichtungen für den nämlichen Endzweck vorgeschlagen. Er verwirft Wollastons Methode, weil viele Personen Schwierigkeiten finden, auf diese Weise die Bleifeder zu sehen, und kehrt zur frühern mit der durchsichtigen Tafel zurück. Sein erster Vorschlag ist ganz übereinstimmend mit der Einrichtung, welche im Jahr 1812 Professor Lüdike in Meissen [2] mitgetheilt hat. C D ist ein Metallspiegel, der die aus m ankommenden Strahlen auf die durchsichtige Glastafel A B sendet, von welcher sie in's Auge reflectirt werden, das dann zugleich durch die Glastafel das Papier erblickt. Beide Erfinder suchten das Unangenehme der doppelten Reflection auf der durchsichtigen Tafel zu vermeiden, Lüdike indem er vorschlug, sie möglichst dünn zu machen, Amici indem er ihr eine Dicke von drei Linien gab, und diejenigen Stellen auf der untern Seite, auf denen die schädliche Reflection statt fand, matt schliff. Gesetzt, der Strahl m n werde nach o reflectirt, so wird ein Theil desselben in der Richtung o p in's Auge gehen, während dem der andere nach p, und von da nach r gebrochen wird, um in der Richtung r s in's Auge zu gelangen. Sind die Glasflächen genau parallel, so werden auch die Strahlen o p und r s parallel gehen, und es entsteht keine Undeutlichkeit; ist aber das Glas nur ein wenig prismatisch, so werden die Bilder doppelt; es ist daher rathsam, die hin-

Fig. 8.

1 S. dessen Dissertat. de oculorum hominis animaliumque sectione horizont. Gott. 1818. fol. und G. XLI. 110.

2 G. XLII. 338.

tere Fläche, die oberhalb q doch von keinem Nutzen ist, entweder matt zu machen, oder in der Richtung q r ganz wegzuschneiden. Um einen vollkommenen Parallelismus der Flächen zu erhalten, giebt Amici den Rath, das Glas A B aus zwei flachen Prismen zusammenzusetzen, die dann gehörig gegen einander geneigt werden können.

Eine zweite Combination setzt den Spiegel B D hinter die Glastafel auf die Seite des Beobachters. Die Strahlen aus m gelangen durch das Glas nach n, und durch die zwei folgenden Reflectionen nach o und p. Bei ihrem Durchgang durch die Glastafel erleiden sie einigen, jedoch unbedeutenden, Lichtverlust; dieser aber wird reichlich aufgewogen durch das große Gesichtsfeld, das diese Construction mit sich bringt, und durch den Vortheil, wegen des geringen Einfallswinkels bei n, einen Glasspiegel gebrauchen zu können. Fig. 9.

In Amici's dritter Einrichtung wird die Glastafel unter einem Winkel von 45° geneigt, und die Umkehrung des Bildes durch ein rechtwinkliges Prisma bewirkt, an dessen Hypotenusenfläche der Strahl m n in n′ reflectirt wird, und von n″ in gleichlaufender Richtung mit m n ausgeht. Bei dieser Gelegenheit räth Amici ebenfalls, wie Sömmerring that, einen kleinen Metallspiegel von elliptischer Form anzuwenden, der an einem sehr dünnen Stiel befestigt seyn muſs: er ist kleiner, als die Pupille, damit das Auge rings um denselben die directen Strahlen vom Papier erhalte. Fig. 10.

Der Erfinder ist endlich bei einer vierten Art stehen geblieben, die von der ersten sich nur dadurch unterscheidet, daſs statt des Metallspiegels ein Prisma gebraucht wird, in derjenigen Stellung, wie die Figur sie zeigt. Es ist bei dieser Einrichtung hauptsächlich darauf zu sehen, daſs keine Strahlen vom Prisma selbst, aus der Gegend von n″ in's Auge kommen. Diesem sucht Amici durch ein oben angebrachtes Blech zu begegnen, welches durch einen darin befindlichen Einschnitt dem Auge nur bis auf die nöthige Distanz hineinzublicken gestattet. Das letztere Instrument in seiner Fassung mit den dabei nöthigen Convex- und Concav-Gläsern ist aus der Zeichnung kenntlich. Fig. 11. Fig. 12.

So sehr auch Amici selbst, und die Herausgeber der Annales de Chimie, so wie auch Francoeur im Dictionn. Technologique (indem sie die Verfertigung dieser Werkzeuge bei den

französischen Optikern LEREBOURS und CHEVALIER anzeigen) die Vorzüge dieser Constructionen im Gegensatz zu WOLLASTON's Princip erheben, so finden beim Gebrauche der durchsichtigen Tafel doch zwei wesentliche Schwierigkeiten statt, die beim directen Sehen ganz wegfallen. Die eine liegt in der äußerst schwer zu beseitigenden Doppelreflection der Glastafel, die andere in dem Umstande, daſs man kein Mittel hat, das oft zu grelle Licht der von der Sonne beschienenen Gegenstände so zu modificiren, daſs es die Sichtbarkeit der Bleifeder nicht mehr hindere. Die Schwächung des Bildes durch gefärbte Gläser ist ein Hülfsmittel, das keine Abstufungen in seiner Wirkung zuläſst, dahingegen bei WOLLASTONS Methode es leicht ist, durch Verschiebung des Regulators die relative Helligkeit der beiden Objecte dem jedesmaligen Bedürfniſs anzupassen. Die Erfahrung hat auch gezeigt, daſs diejenigen Personen, denen nicht alles praktische Geschick überhaupt abging, durch Aufmerksamkeit und Uebung sich mit dem Gebrauche des Wollastonschen vertraut gemacht haben.

FRANCOEUR bemerkt, daſs der Optiker CHEVALIER, ehe AMICI's Vorschläge bekannt waren, bereits auf die, in Fig. 9 angegebene Construction gefallen sey; es ist dieses um so weniger zu bezweifeln, da wir oben gesehen haben, daſs der an neuen Ideen so reiche Italienische Optiker auch in ein Paar andern Vorschlägen mit LÜDKLE und SÖMMERRING die Ehre der ersten Erfindung theilen muſs[1]. *H.*

Camera obscura.

Dunkele Kammer; Chambre noire; *Dark chamber.* Ein eingeschlossener dunkler Raum, in welchen die von den umgebenden Objecten ausgehenden Lichtstrahlen nur durch eine einzige kleine Oeffnung dringen können, von der sie divergirend auf einer gegenüberstehenden Wand sich ausbreiten, und auf dieser eine mit den natürlichen Farben ver-

1 Siehe über WOLLASTONS Camera lucida Gilberts Ann. Bd. 34. pag. 353. und LÜDIKE's Aufsatz. ibid. Bd. 42. pag. 338. Eine vollständige Uebersetzung von AMICI's Schrift in den Annal. de Chim. Tom. XXII. pag. 137.

sehene, jedoch verkehrt stehende, Abbildung der Gegenstände hervorbringen, wird im Allgemeinen mit diesem Namen belegt.

Es sey M M der eingeschlossene Raum, i ein durch ein Blech gebohrtes Loch in der Vorderwand, so klein, dafs es nur wenige, gleichsam nur einen Strahl, von dem äufsern Gegenstande A C B durchgehen läfst. Auf diese Weise erhält jeder von A C B ausgehende Strahl auf der Wand in b c a seine bestimmte Stelle, die ihm von keinem andern streitig gemacht werden kann. Diese Strahlen reihen sich demnach auf der Wand in eben der Ordnung an einander an, wie sie am Object selbst liegen; und erzeigen dadurch ein getreues Bild desselben, das jedoch, weil sie in der Oeffnung i sich durchkreuzen, verkehrt ist. Die Gröfse des Bildes richtet sich nach der Ausbreitung des optischen Winkels, unter welchem das Object in i gesehen wird, auf der gegenüberstehenden Wand, mithin nach der Entfernung dieser Wand von der Oeffnung i. Die Deutlichkeit desselben hängt von der Kleinheit der Oeffnung ab, die so enge seyn mufs, dafs nicht zwei verschiedene Strahlen parallel neben einander durchgehen können; diese Letztere ist dagegen der Sichtbarkeit des Bildes hinderlich, in so ferne nicht das Object aufserordentlich hell ist. Wird die Oeffnung gröfser, so nimmt die Erleuchtung des Bildes, aber auch zugleich seine Undeutlichkeit zu, bis endlich der Zuflufs mannichfacher Lichtstrahlen von allen Stellen des Objects jede bestimmte Gestalt verschwinden macht, und nur die eigenthümliche Farbe der Wand dem Auge sich darbietet.

Fig. 13.

Dem Mangel des Lichts, der von der Kleinheit der Oeffnung entsteht, kann man ohne Verlust der Deutlichkeit dadurch abhelfen, das man dieselbe auf 2 bis 3 Zolle erweitert, und ein convexes Glas einsetzt, defsen Brennweite der Entfernung der Wand von i gleich ist. Dieses hat die Eigenschaft, alle Strahlen, die von einem Puncte des Gegenstandes auf seine ganze Fläche fallen, zu vereinigen, und sie auf eine bestimmte Stelle der Wand zu werfen. So bildet dieses Glas von jedem bemerkbaren Theile des Objects einen besondern Brennpunct auf der Wand, und die Summen aller dieser neben einander liegenden Puncte bietet dem Auge eine vollkommene deutliche, hinreichend erhellte, mit frischen Farben prangende Abbildung

dar, die jedoch wegen der oben bemerkten Durchkreuzung der Lichtstrahlen in i ebenfalls verkehrt erscheint.

Diese unterhaltende der Malerei dienliche, und durch ihre spätere Anwendung auf die Theorie des Sehens auch der Physik nützliche Vorrichtung ward um die Mitte des sechzehnten Jahrhunderts von dem Neapolitaner Johann Baptist Porta erfunden, einem Gelehrten, der sich durch gründliche Forschungen in den Naturwissenschaften, so gut es damals möglich war, so wie durch Verbreitung nützlicher Kenntnisse grofse Verdienste erwarb. In seiner magia naturalis, Neap. 1558. fol. erklärt er das Eigenthümliche beider Arten der Camera obscura, und ihren Nutzen zur Abbildung natürlicher Gegenstände; ja er versuchte es sogar mit kleinen gemalten Bildern, die er in umgekehrter Stellung, stark von der Sonne beleuchtet, vor das Glas brachte und vergröfsert und aufrecht an der innern Wand des verfinsterten Zimmers erscheinen liefs. Da er ihnen einige Bewegung geben konnte, so stellte er auf diese Art Jagden, Schlachten u. dergl. vor, was in jener Zeit übernatürlich schien. Dieser leitete, später den Pater Kircher auf die Erfindung der Zauberlaterne, durch welche sich das Nämliche mittelst künstlicher Beleuchtung bei Nacht eben so bequem darstellen läfst, und die noch jetzt ein Hauptinstrument in der sogenannten belustigenden Physik ausmacht.

Die Darstellungen der *Camera obscura* zeichnen sich durch die Schönheit und Harmonie der Farben, durch die Zartheit ihrer Umrisse, und eine gewisse, von der Unvollkommenheit der Gläser und Spiegel herrührende, Weichheit des Bildes aus, die weder die Camera lucida, noch der Malerspiegel (ein am Rücken geschwärztes planconvexes Glas) zu geben vermögen. Sodann trägt das Bewegliche der Figuren ungemein viel zu ihrer Annehmlichkeit bei, so dafs, wer die Aussicht auf einen belebten, von der Sonne beschienenen Platz hat, es nicht bereuen darf, ein Zimmer für diesen Zweck einigermafsen einzurichten. Es bedarf dazu weiter nichts, als eine hinlängliche Verdunkelung desselben durch äufsere Fensterladen, oder inwendig eingepafste Fensterrahmen von Carton, ein Objectiv von etwa 5 Fufs Brennweite, und eine mit weifsem Papier beklebte Tafel, die im Brennpunct des Objectivs hingestellt wird. Die Umkehrung des Bildes wird am besten durch ein rechtwinkliches

Fig. 14.

gläsernes Prisma A B C bewirkt, in welchem die Strahlen an der Hypotenusenfläche A B reflectirt werden. Da solche Prismen, wegen der Schwierigkeit, groſse streifenfreie Glasmassen zu erhalten, nicht leicht in erforderlicher Gröſse zu finden sind, so dürfte es nicht unzweckmäſsig seyn, hier zu bemerken, daſs das untere Drittel des Prisma D E C weniger wichtig ist, weil die parallel mit der Basis einfallenden Strahlen dieselbe nicht mehr erreichen können. Gröſsere Prismen könnte man aus Tafeln von gutem Spiegelglase zusammensetzen, und mit Wasser oder Weingeist füllen.

Fig. 14.

Die nämliche Umkehrung des Bildes durch ein Prisma läſst sich auch für eine kleinere Einrichtung ähnlicher Art benutzen, wobei das Zimmer nicht sehr finster zu seyn braucht. In einer wohlgelegenen, etwas dunkeln Ecke desselben wird die Mauer schräg durchbrochen, und auf der äuſsern Seite A A ein Objectiv eingesetzt, dessen Brennweite ungefähr der Mauerdicke gleich ist. An der innern Seite der Wand J hängt ein gewöhnlicher Bilderrahmen m m mit einem mattgeschliffenen Glase, auf welchem die äuſsern Gegenstände sich abbilden; ein Prisma P von mäſsiger Gröſse dient zur Aufrechtstellung dieses beweglichen Gemäldes.

Fig. 15.

Beide Arten der Entwerfung des Bildes, auf einem Papier oder auf der mattgeschliffenen Glastafel, werden auch da angewandt, wo die *Camera obscura* kein Zimmer, sondern ein Kasten ist, in welchen der Beobachter hineinsieht. Das Bild wird hier nicht auf eine verticale, sondern auf eine horizontale Ebene geworfen; daher die Umkehrung desselben durch einen um 45° geneigten Planspiegel ohne Mühe bewerkstelligt wird. Der Spiegel kann bei diesem Reflexionswinkel von Glas seyn, nur müssen seine Flächen gut bearbeitet seyn, und nicht die Längenfurchen der meisten Glasspiegel haben. Man kann sich von seiner Tauglichkeit durch den directen Versuch, oder vorher auch dadurch überzeugen, wenn man mit einem mäſsig vergröſsernden Fernrohr reflectirte Gegenstände in demselben betrachtet. Werden diese nicht undeutlich, so ist der Spiegel gewiſs gut. Man verfertigt auch rechtwinklichte Glasprismen, an denen die eine Kathetenfläche nach der erforderlichen Brennweite convex geschliffen ist; die horizontalen Strahlen werden

Fig. 16. alsdann auf der schrägen Fläche nach unten reflectirt, wie aus der Zeichnung zu ersehen ist.

Diejenige Einrichtung, in welcher das Bild auf einem halbdurchsichtigen, mattgeschliffenen Glase oder einem geölten Papier erscheint, ist gewöhnlich von kleinerem Format, als die andere, die ungleich schönere Bilder lifert. Bei der Erstern wird das Bild aufwärts, bei der Letztern niederwärts reflectirt. Die Ausschliefsung alles fremden Lichtes ist bei jener nicht so wesentlich; es genügt, durch die am Deckel angebrachten Kreissectoren das Seitenlicht abzuhalten. Das Gehäuse der letztern Art ist entweder von dünnen Brettern B B B, die in Charnieren beweglich sich zusammenklappen lassen, so dafs das Ganze eine Schachtel A A von mäfsiger Gröfse ausmacht; oder es besteht aus zusammengefügten Stäben, die mit einem dichten, überall anschliefsenden Mantel umgeben werden. Das obere Kästchen, welches das Objectiv und den Spiegel enthält, läfst sich vermittelst eines Getriebes t, das in eine gezähnte Stange eingreift, nach Bedürfnifs auf- und niederschieben. Der Spiegel s s wird durch den Knopf d in die erforderliche Neigung gebracht. Da es, zumal im Sonnenscheine, beschwerlich ist, in einem solchen eingeschlossenen Raume lange zu verweilen, so thut man besser, in die auf der Seite des Beobachters befindliche Wand ein ovales Loch einzuschneiden, in welches man nur einen Theil des Kopfes hineinhält, und nach Belieben wieder zurückziehen kann. Ein unterhalb hineingehender Aermel verschafft der Hand des Zeichners den Zutritt. Bei dieser Einrichtung kann dann auch das von unten eindringende, am meisten schädliche Licht ausgeshlossen werden, was bei dem über den Beobachter hängenden Mantel schwieriger ist. Die Brennweite des Objectivs variirt zwischen 20 und 30 Zollen. Nach Wollastons Rathe soll dasselbe periskopisch, d. h. ein Meniskus seyn, dessen concave Seite dem Object zugekehrt ist, und von welchem die Radien der Krümmungsflächen, zu Folge der Erfahrungen von Cauchoix, wie 5 zu 8 sich verhalten sollen. Wegen der vollkommnern Gestalt und der gröfsern Oeffnung möchten auch achromatische Objective (z. B. von Kometensuchern) schöne und helle Bilder geben.

Vor Erfindung der Camera lucida war die Camera obscura eine sehr nützliche Hülfe zur schnellen und richtigen

(Fig. 17. Fig. 18. — marginal figure references)

Zeichnung einer Landschaft oder anderer Gegenstände. Sie ist es noch in den, auch nicht seltenen Fällen, wo man die Entwerfung gröfser haben will, als das neue Instrument sie liefert. Ihr wichtigster Nutzen aber für den Künstler besteht darin, dafs sie ihm die schönsten Vorbilder für das Colorit seiner Landschaft liefert.

Die *Camera clara* ist von dem unter Fig. 17. beschriebenen Apparat dadurch verschieden, dafs man statt des mattgeschliffenen Planglases eine grofse Glaslinse von nicht gar langer Brennweite anbringt, auf welcher das Bild sich mit scharfen Umrissen und lebhafter Färbung zeigt. Man erhält hierdurch eigentlich ein astronomisches Fernrohr aus zwei Convex-Gläsern, dessen Axe in der Mitte durch den schräg liegenden Spiegel gebrochen ist, und der Beobachter sieht alsdann nicht die Entwerfung des Bildes, sondern das Bild selbst. Das Auge steht hiebei in einiger Entfernung vor der Linse, und mufs durch Seitenwände gegen allzustarkes äufseres Licht geschützt werden. Ein gewisser Storer in England bringt noch über der Glaslinse die mattgeschliffene Glastafel an, auf welcher das Bild sich schärfer als bei der Camera obscura zeigen soll. *H.*

Capillarität.

Capillar-Anziehung, Capillar-Attraction, Haarröhrchen-Anziehung; *Attractio capillaris*, Capillarité, Attraction capillaire; *capillary attraction* or *attraction of capillary tubes.* Dieser entgegengesetzt ist die Capillar-Depression, Haarröhrchen-Abstofsung; *Depressio capillaris;* Depression capillaire; *capillary depression.* Unter jener versteht man die Erscheinung, dafs Flüssigkeiten in engen Röhren, welche von ihnen benetzt werden, über ihr Niveau aufsteigen, unter dieser, dafs sie unter dasselbe hinabsinken, wenn sie die Oberfläche des Haarrörchens nicht benetzen.

Die Erscheinung selbst ist so oft und so allgemein vorkommend, dafs sie schon in den ältesten Zeiten beobachtet werden mufste, und als den Gesetzen der Natur zuwider von den Physikern sehr aufmerksam in nähere Betrachtung gezogen wurde. Zuerst soll Franciscus Aggiunti, Leibarzt des Grofsherzogs von

Toscana, einer der Gründer der Academia del Cimento (starb 1635) auf das Phänomen aufmerksam gemacht haben.[1] Der Jesuit Honoratus Fabry[2] und aus ihm Ioh. Christoph Sturm[3] erwähnt in der Hauptsache, daſs Wasser in gläsernen Röhren nicht ohne Einfluſs ihrer Länge zu einer dem Durchmesser umgekehrt proportionalen Höhe steige, und erklärt dieses aus dem im Innern der Röhre geringern Luftdrucke. Die Neuheit der nicht lange vorher erfundenen Luftpumpe und das Bestreben, die Erscheinung der Capillarität denjenigen anzureihen, welche jenes interessante Werkzeug darbot, richtete die Aufmerksamkeit mehrerer Gelehrten auf dieselbe, so daſs sich unter andern Rohault[4], Boyle[5], Sinclair[6], Mairan[7] und Leeuwenhoek[8] ernstlich damit beschäftigten, unter denen Sinclair auffand, daſs das Röhrchen benetzt seyn müsse, um die Wirkung hervorzubringen. Indem aber Isaac Vossius[9] das Entgegengesetzte, nämlich Depression beim Quecksilber in gläsernen Röhren wahrnahm, so glaubte er, das Wasser hänge vermöge seiner Zähigkeit an den Wänden des Glases. Künstlicher ist die Erklärung des Borellus[10], wonach das Wasser am unteren Theile der Röhre eine Art von Netz bilden und durch die Wirkung biegsamer Hebel in derselben aufsteigen soll. Nach Iac. Bernoulli[11] passen die Luftkügelchen nicht genau in die engen Oeffnungen der Röhren, werden daher durch den Gegendruck gegen ihre Wände getragen, und dann treibt der stärkere Luftdruck von Auſsen sie in die Höhe. Zu diesem Luftdrucke nahm auch Rob. Hooke[12] seine Zuflucht, und man darf diese Ansicht

---

1 La Lande Diss. sur la cause de l'élevation des liqueurs dans les tubes capillaires. à Par. 1770.

2 Scient. phys. Tract. V. L. II. Digress. 1.

3 Collegium experimentale sive curiosum. Norimb. 1676. 4. T. 1. tent. 8. p. 44.

4 Traité de Physique. Par. 1673. 1. cap. 22. §. 88.

5 Exper. phys. mech. exper. 9. p. 93. Phil. Trans. XI. 775.

6 Tractatus de gravitate. p. 161.

7 Mém. de l'Ac. 1722.

8 Continuat. Arcan. Nat. epist. 131.

9 De Nili et alior. fluminum origine. Hag. Com. 1666. cap. 2.

10 De mot. natural. a gravitate pendentibus. L. B. 1686. prop. 182 ff.

11 De gravit. aetheris. p. 239.

12 Micrographia. Obs. VII. Cotes's hydrostat. cet. Lectures. Lect. XI.

für die allgemein geltende halten, bis NEWTON[1], BOYLE[2] und HAWKSBEE[3] die wichtigsten dahin gehörigen Erscheinungen sowohl beim gewöhnlichen Luftdrucke als auch unter der Campane der Luftpumpe beobachteten, LUD. CARRÉ[4] aber nebst GEOFFROY aus ihren zahlreichen Versuchen fanden, dafs die Erscheinung wegfiel, wenn die innere Wand der Röhre mit einer noch so dünnen Lage Fett bestrichen war, wonach sie also durch das Anhängen der Wassertheilchen an der Oberfläche des Glases erzeugt werden mufste. Sie irrten indefs darin, dafs sie glaubten, die das Glas berührenden Wassertheilchen verlören ihr Gewicht ganz, und es müsse daher eine diesen gleiche Menge im Haarröhrchen aufsteigen, indem hiernach die Höhe des angehobenen Wassercylinders dem eingetauchten Theile der Röhre direct proportional seyn müfste. JURIN[5] wiederholte die früheren Versuche mit ungleich weiten Röhren sowohl unter dem gewöhnlichen Luftdrucke als auch im Guerickschen Vacuo, und erklärte das Aufsteigen des Wassers, wie HAWKSBEE, aus der Anziehung des Glases, welche dem die innere Wand berührenden Wasser die Schwere nähme. Dieser Ansicht trat auch BÜLFINGER[6] bei, mit dem Zusatze, dafs jedes Haarröhrchen gerade so viel Wasser anzuheben vermöge, als der gröfste Tropfen ausmacht, welcher unten an demselben, ohne herabzufallen, hängen bleibe. HAMILTON[7] schrieb die Erscheinung einer Anziehung des untern Randes der Röhre gegen das Wasser zu und führte als Beweis hierfür an, dafs der Wassercylinder in einer horizontalen Röhre sich nach jeder Seite bewege, wohin man die Röhre neige, und blos dann hängen bleibe, wenn er den einen untern Rand berühre. Gegen dieses leicht zu widerlegende Argument hat sich PARKINSON[8] weitläufig erklärt.

---

1 Optice. qu. XXXI. p. 317 ed. Clarke.

2 Cont. prima Exper. ad Exper. 27. p. 63. Cont. secund. Exper. ad exper. 9. p. 93.

3 Phil. Trans. XXV. 2223, XXVI. 258.

4 Mém. de Par. 1705. p. 245.

5 Phil. Trans. XXX. N. 355. 363. 759. 1083. Abridg. IV. 423. Com. Pet. III. 281.

6 Com. Pet. II. 233. III. 81.

7 Lectures cet. II. 47.

8 System of Mechanics and Hydrost. ch. v.

Bei weitem die meisten und vielfachst abgeänderten Versuche hat MUSSCHENBROEK[1] angestellt, und glaubt in Folge derselben die Ursache der Erscheinung in eine Anziehung des Glases der ganzen Röhre mit Einfluſs seiner Dicke setzen zu müssen. WEITBRECHT[2] folgerte aus seinen genauen Versuchen sehr richtig, daſs sowohl die Anziehung des Glases gegen die Wassertheilchen, als auch dieser lezteren unter einander berücksichtigt werden müsse. Eben so richtig folgert GELLERT[3], daſs geschmolzenes Blei in gläsernen und irdenen Haarröhrchen niedriger stehen müsse, als sein äuſseres Niveau, weil seinen Theilchen eine stärkere Anziehung gegen einander, als gegen die genannten Substanzen zukomme; und so müſsten also die Depressionen bei cylindrischen Röhren im umgekehrten Verhältnisse der Durchmesser, bei prismatischen aber im umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln aus den Grundflächen stehen[4].

Am bekanntesten und am meisten geachtet waren bis auf die neueren Zeiten die Untersuchungen von MUSSCHENBROEK[5] und von DE LA LANDE[6] über dieses Problem. Lezterer leitete die Erscheinung der Capillarattraction von der Anziehung des Wassers durch die inneren Wände der Glasröhre ab, wodurch der in Berührung befindliche Theil leichter werden, und so in die Höhe steigen müsse, bis das Gewicht der gehobenen Säule der Stärke der Anziehung gleich sey. Es muſs aber nach dieser Ansicht auch die Länge des eingetauchten Theiles einen Einfluſs auf die Höhe des Wassercylinders haben, ein Irrthum, auf welchen schon CARRE' durch theoretische Gründe geführt war. Später wollte v. ARNIM[7] aus einer Reihe von Versuchen gefunden haben, daſs die Länge des nicht eingetauchten Theiles der Röhre die

1 Dissert. Phys. exper. de tubis capill. et attractione speculor. plan. vitreor. olim L. B. editae, nunc Viennae. 1753. 4.

2 Com. Pet. VIII. 261. IX. 275.

3 Ebend. XII. 293.

4 Vergl. FUNCCII Diss. de ascensu fluidorum in tubis capill. Comment. I et II. Lips. 1773. 4. DU TOUR in Rozier's J. 1778. fevr.

5 Introd. I. 368. §. 1045.

6 Dissert. sur la cause de l'élevat. des liqueurs dans les tubes cap. à Paris 1770. 12. Auch im Journ. des Sav. 1768. Nov. und in Tablettes des Scienses. I, 78.

7 G. IV. 375.

Stärke ihrer Anziehung gegen das Wasser vermehre, welche Behauptung HÄLLSTRÖM[1] genügend widerlegt, nicht gerechnet, daſs sie gegen die Resultate aller früheren Physiker streitet.

Ueber die eigentliche Ursache der Erscheinungen, welche zur *Capillarität* gerechnet werden, kann gegenwärtig kein Streit mehr seyn. Es geht nämlich aus allen Versuchen unverkennbar hervor, daſs dieselbe in der Adhäsion der Flüssigkeiten an festen Körpern und ihrer einzelnen Theilchen unter einander zu suchen sey, so daſs also diese Erscheinungen zur *Anziehung* der wägbaren Materie im Allgemeinen und zu derjenigen besondern Modification derselben gehören, welche mit dem Namen *Adhäsion*[2] bezeichnet wird. Es werden sonach die Theilchen der Flüssigkeit die Erscheinungen der Capillarität zeigen, je nachdem die Adhäsion derselben zu einander oder zu der Oberfläche des berührenden Körpers überwiegend ist. Eine Flächenanziehung oder eine Anziehung in der Berührung hat man aber deswegen hierbei anzunehmen, weil die Capillarattraction sogleich in Capillardepression übergeht, wenn die Wände des eingetauchten Körpers mit der dünnsten Lage einer Substanz überzogen werden, welcher die Flüssigkeit nur wenig adhärirt, oder welche durch dieselbe nicht benetzt wird. Die *Capillardepression* des Quecksilbers in Glasröhren ist folglich blos das Gegentheil der *Capillarattraction*, und es ist unnöthig, ihre Erklärung mit GREN[3] in einer gröſseren Schwierigkeit der Trennung der Theilchen des Metalles zu suchen, wenn anders unter dieser nicht die verhältniſsmäſsig gröſsere Adhäsion dieser Theilchen gegen einander als gegen die Wände des Glases verstanden wird.

Eine vortreffliche analytische Darstellung der Gesetze der Capillarität hat früher CLAIRAUT[4] gegeben, vollständig aber und als Muster der gröſsten Gewandtheit im scharfen analytischen

---

1 G. XIV. 425. Vergl. XXVI. 479.
2 S. *Adhäsion*.
3 Grundriſs d. Naturl. p. 109.
4 De la figure de la Terre. Par. 1743. 2me ed. von POISSON. Par. 1808. 8.

Calcüle ist dieselbe dargestellt durch DE LA PLACE[1], welche wiederum in leichtere Uebersicht nach ihrem wesentlichsten Inhalte mitgetheilt ist durch den Verfasser selbst[2] und durch BIOT[3], ausführlich übersetzt aber und mit Anmerkungen begleitet durch W. BRANDES[4]; eine leichte, in den Grenzen der elementaren Geometrie gehaltene Uebersicht derselben aber haben PESSUTI[5] und KRIES[6] gegeben. Es ist rathsam, sich hauptsächlich hieran zu halten, weil die ausführlichen Abhandlungen weitläuftig und mitunter dunkel, oder mindestens höchst schwierig zu verstehen sind, obgleich die Richtigkeit der Sache selbst bei genauerer Prüfung nicht bezweifelt werden kann[7].

LA PLACE nimmt zuerst mit HAWKSBEE und andern an, daſs die Haarröhrchenwirkung auf einer *Anziehung in unmeſsbare Ferne* beruhe, und daher bloſs die Oberfläche des Glaſes dabei thätig sey, wie auſser dem schon erwähnten Argumente auch noch daraus hervorgeht, daſs die Capillardepression im Barometer wegfällt, und sogar in Attraction verwandelt werden kann, wenn durch anhaltendes Kochen alle Luft und Feuchtigkeit entfernt ist, so daſs also eine äuſserst dünne Wasserschicht oder Luftschicht zwischen dem Quecksilber und dem Glase das Verhalten beider gegen einander zu modificiren vermag. Mit Unrecht nahm daher CLAIRAUT an, daſs die Kraft der Anziehung sich vom Rande des Glases bis in die Axe des Röhrchens erstrecke, indem vielmehr durch die anziehende Kraft der Röhrenwand nur eine dünne Wasserschicht gehoben wird, diese aber die ihr zunächstliegende hebt, diese wieder eine folgende u. s. w. bis das Gewicht der angehobenen Säule des Flüssigen den hebenden Kräften das Gleichgewicht hält. Die meiste Schwierigkeit des Verstehens der LA PLACEschen Theorie scheint bei

---

1 Théorie de l'action capillaire par Mr. LA PLACE. Par. 1806. 62 S. 4. Supplément à la Théorie de l'action capillaire par Mr. LA PLACE ib. 1807. 78 S. 4.

2 J. de P. LXII. 120 u. 47. LXIII. 474. LXV. 88.

3 Bibl. Brit. 1806. Oct. G. XXV. 233. XXXIII. 117. Traité. 1. 437.

4 G. XXXIII. 1 bis 115. 117 bis 183. 273 bis 336. 367 bis 373.

5 Atti della Soc. Ital. T. XIV.

6 Gehlen J. IX. 104.

7 Vergl. vorzüglich die Darstellung der Capillartheorie durch BIOT im Traité. I. 437 ff.

vielen die Behauptung dieses Geometers gemacht zu haben, dafs die Krümmung der Oberfläche des Flüssigen die Capillarität bedinge. Es läfst sich indefs dieser Satz auf folgende Weise leicht anschaulich machen.

Geht man nämlich von dem Grundsatze aus, dafs jedes einzelne Theilchen einer Flüssigkeit nicht blofs der Schwere folgt, sondern zugleich auch eine Anziehung gegen jedes berührende Theilchen ausübt und von demselben erleidet, so ist klar, dafs jedes Theilchen dicht unter der gekrümmten Oberfläche auf mehrere Theilchen in derselben wirken kann, als in der ebenen. Es sey zu diesem Ende A B eine Glasröhre, in welcher die Flüssigkeit die gekrümmte Oberfläche q r bildet, a sey ein Theilchen derselben unter dieser Oberfläche, b aber in derselben, so wird a seine herabziehende Wirkung auf mehrere ihm nähere Theilchen der Flüssigkeit in der gekrümmten Fläche ausdehnen, als in der geraden m n, und da dieses nämliche auf alle andere Theilchen pafst, so wird dadurch die Summe der herabziehenden Kräfte zunehmen müssen. Die Curve, welche die gekrümmte Oberfläche in einer sie schneidenden Ebene bildet, ist zwar verschieden, und hängt von der Beschaffenheit der Flüssigkeit und dem Durchmesser der Röhre ab, allein man kann sie vorläufig immerhin als einen Kreis, und somit die gekrümmte Oberfläche als ein Kugelsegment betrachten. Indem aber der Unterschied der Kugelfläche und der ebenen so viel gröfser wird, je kleiner der Halbmesser der Kugel ist, die herabziehenden Kräfte aber um so stärker wirken, je gröfser dieser Unterschied ist, so wird bei einerlei Flüssigkeit die Stärke der herabziehenden Kräfte dem Halbmesser der Kugel umgekehrt proportional seyn, von welcher die obere Wölbung ein Segment bildet. Es lehrt aber schon der Augenschein, dafs wenn in der Röhre A B die enthaltene Flüssigkeit eine concave Oberfläche q p bildet, welche von der geraden m n berührt wird, das Gegentheil statt finden müsse, indem die in der gekrümmten Fläche liegenden Theile früher und weiter aus der Anziehungssphäre von a rücken, mithin weniger herabgezogen werden. Hiernach mufs aber eine Flüssigkeit, welche durch die Beschaffenheit der inneren Fläche der Röhre disponirt wird, eine concave Oberfläche zu bilden, in derselben höher stehen als aufserhalb, und im entgegengesetzten Falle

Fig. 19.

Fig. 20.

tiefer herabgedrückt werden, und da die heraufwärts oder herabwärts ziehenden Kräfte den Halbmesser der Krümmungen umgekehrt proportional sind, so werden auch die Erhöhungen oder Vertiefungen der in ein Haarröhrchen eingeschlossene Flüssigkeiten über oder unter das Niveau der umgebenden Flüssigkeit diesen Halbmessern proportional seyn.

Man kann auf diesem Wege leicht zu einem geometrischen Beweise des durch zahlreiche ältere Erfahrungen schon aufgefundenen Hauptsatzes der Capillarität gelangen, *dafs nämlich die Höhen, bis zu welchen gleichartige Flüssigkeiten über das äufsere Niveau aufsteigen, den Durchmessern der Röhren umgekehrt proportional sind.* Zu diesem Ende seyen A B und a b die Durchschnitte zweier ungleich weiten Röhren, m r n und p s q der gekrümmten Oberfläche, welche eine gleichartige Flüssigkeit bildet, deren Neigungen gegen die inneren Flächen der Röhren daher gleich sind. Werden nun diese Neigungen durch die Tangenten m h und p t ausgedrückt, und bezeichnen O und o die Mittelpunkte der Kreise, zu welchen die Bogen gehören, so ist m h auf O m und p t auf o p normal, und A m h = a p t. Weil aber die Seiten jeder der Röhren als parallel angenommen werden, so sind m n und p q auf dieselben normal. Diesemnach ist

Fig. 21. Fig. 22.

$$A\,m\,n = O\,m\,h \text{ und } a\,p\,q = o\,p\,t$$
$$A\,m\,h + h\,m\,n = h\,m\,n + O\,m\,n$$
$$a\,p\,t + t\,p\,q = t\,p\,q + o\,p\,q$$
$$\text{also } A\,m\,h = O\,m\,n \text{ und } a\,p\,t = o\,p\,q$$
$$\text{und da } A\,m\,h = a\,p\,t, \text{ so ist } O\,m\,n = o\,p\,q.$$

Es sind aber die Dreiecke gleichschenklig und einer der Winkel an der Grundlinie ist dem andern gleich, also sind alle Winkel gleich, und O = o, folglich sind die Bogen einander ähnlich, und verhalten sich wie die Halbmesser O m und o p der Kugelabschnitte, welche die Flüssigkeiten in den Röhren bilden. Eben so verhalten sich aber auch die Chorden m n und p q, welche als die Durchmesser der Röhren anzusehen sind, und es verhält sich also der Stand einer gleichartigen Flüssigkeit in zwei Haarröhrchen über oder unter dem Niveau aufserhalb umgekehrt wie der Durchmesser der Röhren.

Noch auf eine andere Art läfst sich die Capillarität als das Resultat aller auf ein gegebenes Theilchen einer Flüssigkeit wir-

kender anziehender Kräfte auf folgende Weise darstellen. Denkt man sich in das mit Wasser gefüllte Gefäfs A B C D das Haarröhrchen T H eingetaucht, und die Wassersäule durch T H T′ T″ H′ fortgesetzt, so müfsten nach den bloſsen Gesetzen der Schwere S und H′ im Gleichgewichte seyn. Nimmt man zuerst die Wasserader H T als Verlängerung der im Haarröhrchen gehobenen, so werden die Wassertheilchen derselben *herabgezogen* zuerst durch sich selbst und zweitens durch die sie umgebenden. Beide Anziehungen werden durch die gleichen Wirkungen gegen H′ T″ aufgehoben. Es wird aber die Wasserader H T′ *aufwärts gezogen* durch die Wassertheilchen in H T, welche Wirkung aber durch die gleiche herabziehende der Wasserader H T′ aufgehoben wird. Endlich wird H T′ aber *aufwärts gezogen* durch die inneren Seitenwände des Haarröhrchens H T mit einer Kraft, welche Q heifsen möge.

Fig. 23.

Die Wasserader im Haarröhrchen H T wird *angezogen* zuerst durch ihre Theilchen unter einander, welche Anziehung aber, als sich wechselseitig aufhebend, keine Bewegung hervorbringen kann; zweitens durch die Wasserader in H T′ *herabwärts*, eine Wirkung, welche durch eine gleiche und entgegengesetzte Anziehung *aufwärts* aufgehoben wird; drittens durch die H T′ umgebenden Wassertheilchen *herabwärts* mit einer Kraft, welche der oben mit Q bezeichneten entgegenwirkt, und — Q′ heifsen möge. Die beiden entgegengesetzten Anziehungen Q und — Q′ würden einander aufheben, wenn die Substanz des Glases und des Wassers gleich wären. Viertens wird die Wasserader H T *aufwärts* gezogen durch die innere Fläche der Glasröhre, und wenn man diese gleichfalls wieder = Q setzt, so ist die Summe der aufwärts und herabwärts ziehenden Kräfte = 2 Q — Q′, welche mit dem Gewichte der Wassersäule T H ins Gleichgewicht kommen mufs. Heifst das Volumen der lezteren V, die Dichtigkeit D, die dieselbe herabziehende Schwere g, so ist

$$V D g = 2 Q - Q'$$

und es kommt auf das Verhältnifs der anziehenden Kräfte an, ob $V D g - (2 Q - Q')$ positiv, negativ oder = 0 ist. Indem ferner die anziehenden Kräfte nur in geringe Fernen wirken, so kann man den inneren Umfang der Röhre C und die ihr eigenthümliche Kraft der Anziehung ϱ nennen, wodurch Q =

$C\,\varrho$ und durch eine gleiche Voraussetzung $Q' = C\,\varrho'$ wird, so dafs also $V\,D\,g = (2\,\varrho - \varrho')\,C$ wird.

Fig. 24. Es sey ferner der innere Halbmesser eines Haarröhrchens $= r$, die Höhe der angehobenen Säule H S von Niveau N N an bis zum tiefsten Puncte der Krümmung S aber sey $= h$, und π, das Verhältnifs des Kreises zum Durchmesser; so ist der Umfang der angehobenen Wassersäule oder $C = 2\,r\,\pi$, ihre Grundfläche $= r^2\,\pi$, und ihr Inhalt $= r^2\,\pi\,h$. Nimmt man hiezu den Inhalt des Meniskus über S, so ist dieser gleich einem Cylinder von der Grundfläche $r^2\,\pi$ und der Höhe r, weniger der Halbkugel vom Halbmesser r, also im Ganzen $\pi\,r^3 - \frac{2\,\pi\,r^3}{3} = \frac{\pi\,r^3}{3}$, und wenn beide Gröfsen addirt werden, die Summe für V substituirt, und der für C gefundene Ausdruck gleichfalls aufgenommen wird; so erhält man

$$g\;D\left(\pi r^2 h + \frac{\pi\,r^3}{3}\right) = (2\,\varrho - \varrho')\;2\,\pi\,r.$$

und auf beiden Seiten mit $\pi\,r$ dividirt

$$r\left(h + \frac{r}{3}\right) = 2\,\frac{(2\,\varrho - \varrho')}{g\,D}.$$

Für gleichartige Flüssigkeiten bleiben die Werthe von ϱ, ϱ' und D unverändert, g aber ist an sich eine beständige Gröfse. Werden diese säntlich also durch A ausgedrückt, so ist für gleichartige Flüssigkeiten und Haarröhrchen von gleicher Substanz

$$r\left(h + \frac{r}{3}\right) = A, \text{ also } h + \frac{r}{3} = \frac{A}{r},$$

und da r auf allen Fall gegen h sehr klein ist, und also $\frac{r}{3}$ vernachlässigt werden kann; so ist $h = \frac{A}{r}$ oder es ist *die Höhe dem Halbmesser der Haarröhrchen umgekehrt proportional.*

Man kann zu diesem Hauptsatze der Capillartheorie endlich auch auf folgende noch einfachere Weise gelangen. Bei gleichen Flüssigkeiten ist die Höhe der angehobenen Säule der Gröfse der anziehenden Fläche, mithin dem Halbmesser der Röhre direct, das Gewicht derselben aber, womit sie dieser anziehenden Kraft entgegen zu fallen strebt, ihrer Dicke, folglich dem Quadrate des Halbmessers proportional, und da beide

Kräfte einander entgegen wirken, so verhalten sich die Höhen der angehobenen Wassersäulen bei Röhren von den Durchmessern

$$r \text{ und } r' \text{ wie } \frac{r}{r^2} : \frac{r'}{r'^2} = \frac{1}{r} : \frac{1}{r'} = r' : r.$$

Ist endlich die Röhre nicht lothrecht, sondern in einem Winkel = v gegen den Horizont geneigt, so ist

$$r\left(h + \frac{r}{3}\right) \operatorname{Sin} v = 2 \frac{(2\varrho - \varrho')}{g\,D}.$$

Obgleich das Bestreben der Flüssigkeit, der Einwirkung der Schwere zu folgen und herabzufallen, der Capillarattraction entgegen ist, so sind doch die Höhen, bis zu welchen die verschiedenen Flüssigkeiten in gleich weiten Röhren gehoben werden, den spec. Gewichten derselben nicht umgekehrt proportional, wie man hauptsächlich bei Weingeist und Wasser wahrnimmt. Ersterer steht nämlich niedriger als letzteres, weil seine Anziehung zum Glase geringer ist, wie auch in der Formel ausgedrückt wird.

Ein interessanter Versuch von La Place beweiset sehr evident, dafs Cappillarattraction und Depression dem nämlichen allgemeinen Gesetze zugehören. Ist nämlich bei einer heberförmig gebogenen Röhre mit ungleich weiten Schenkeln der weitere länger als der engere, und bringt man nach gehöriger Benetzung der inneren Wände Weingeist in dieselbe, so wird dieser im engeren Schenkel höher stehen. Giefst man so lange Alkohol in einzelnen Tropfen nach, bis derselbe im kürzeren Schenkel das Ende erreicht, so wird er, wie früher, in diesem eine concave Oberfläche bilden. Beim weiteren Zugiefsen wird diese eben werden, und dann der Alkohol in beiden Schenkeln nahe gleich hoch stehen; dann aber wird die Fläche bei fortgesetztem Zutröpfeln convex werden, der Alkohol aber im weiteren so viel höher stehen, als er vorher niedriger stand. Gleich interessant ist folgender Versuch: Taucht man ein heberförmiges Haarröhrchen A B ins Wasser, so dafs der kürzere Schenkel A unter das Niveau desselben kommt; so steigt das Wasser im längeren Schenkel um die Gröfse F G über das Niveau. Zieht man dasselbe wieder heraus, so bildet sich an der Oeffnung des kürzeren Schenkels ein Tropfen A N O, und die über der Horizontalen N I′ stehende Wassersäule I′ C ist

Fig. 25.

höher als F G. Nimmt man das Tröpfchen weg, bis das Niveau eben ist, so wird die Säule I C = F G. Der Unterschied von F G und I′ C entspricht aber genau der Convexität des Tröpfchens A N O. Taucht man ein Haarröhrchen in Wasser oder in eine andere, Capillaranziehung äuſsernde Flüssigkeit, verschlieſse es mit dem Finger und hebt es aus dem Wasser, so wird ein ein Theil der Flüssigkeit auslaufen, unten ein Tropfen gebildet werden, und die im Röhrchen angehobene Säule länger seyn, als wenn die untere Fläche der Röhre die Flüssigkeit im Gefäſs berührt[1]. Verlängert sich der Tropfen, so verkürzt sich die Säule, und verlängert sich wieder, wenn ein Theil des Tropfens herabgefallen oder weggenommen ist; wird dagegen wieder kürzer, wenn der Tropfen kleiner als eine Halbkugel geworden ist[2]. Der Versuch dient sehr zur Bestätigung der La Place-schen Theorie. Ist nämlich A B das Niveau des Wassers im Gefäſse, so werden die einander entgegengesetzten Anziehungen der über und unter $\alpha\ \beta$ befindlichen Theile einander aufheben. Der Tropfen selbst wird gebildet durch die Anziehung der unteren Röhrenfläche A′ B′. Erlangt derselbe das Maximum seiner Länge, und reicht also bis etwa an $\alpha\ \beta$, so werden die entgegengesetzten Anziehungen der Theile über und unter $\alpha'\ \beta'$ einander zum Theil aufheben; reicht er aber nur etwa bis $\alpha'\ \beta'$, so fällt die Gegenwirkung der unterhalb befindlichen Wassertheilchen weg, weswegen die Wassersäule im Röhrchen wachsen muſs. Nimmt man aber auch die unter A′ B′ befindlich gewesenen Theile weg, so strebt die untere Fläche der Röhre wieder einen Tropfen zu bilden, und die Wassersäule wird verkürzt.

Fig. 26.

Biegt man ein Haarröhrchen heberförmig um, und senkt den einen Schenkel in ein Gefäſs mit Wasser, so wird der Heber sich selbst füllen und das Gefäſs auslaufen, wenn der Theil des Haarröhrchens über der Wasserfläche bis zur Biegung geringer ist, als die Höhe der Wassersäule, welche in demselben

---

1 Diese Erscheinung beobachtete schon Petit. S. Mém. de l' Ac. 1724.

2 Dieses Phänomen scheint mir nicht ganz richtig dargestellt zu seyn durch Biot in Traité I. 460.

angehoben wird. Das Gefäfs wird dann ausgeleert werden, bis das Niveau in demselben so tief herabgesunken ist, dafs es die halbe Höhe erreicht, bis zu welcher der herabhängende Schenkel das Wasser anheben würde[1]. Es bleibt dann zuletzt an diesem lezteren ein Wassertropfen hängen, welcher nahe eine Halbkugel bildet, wodurch das Gleichgewicht hergestellt wird. Hat der Tropfen seine mittlere Gröfse erreicht, und wird der Heber etwas tiefer herab gesenkt, so vergröfsert sich der Tropfen, fällt zuletzt herab oder der Heber fängt aufs Neue an zu laufen. Hebt man denselben aber etwas in die Höhe, so vermindert sich der Tropfen, zieht sich zuletzt ganz in das Röhrchen zurück, und die Flüssigkeit im Haarröhrchen bewegt sich rückwärts, sobald das Ende des nicht eingetauchten Schenkels höher über das Niveau des Wassers im Gefäfse gehoben wird, als bis zu welcher Höhe das Haarröhrchen das Wasser zu heben vermag. Alle diese Erscheinungen hängen mit der eben erläuterten Theorie innig zusammen. Wenn endlich eine Glocke oder eine Röhre von beliebiger Weite sich in ein Haarröhrchen endigt, so wird die Capillarität die Flüssigkeit in dem beliebig weiten Gefäfse so hoch heben, als sie in einem Haarröhrchen vom Durchmesser desjenigen, worin das Gefäfs sich endigt, gehoben werden würde[2].

Alle diese Erscheinungen zeigen im Allgemeinen die Gesetze der Capillarität und die Richtigkeit der dieselben ausdrückenden Formel. Will man die letztere aber durch genaue Versuche prüfen; so kommt es vorzüglich darauf an, die Durchmesser der dazu genommenen Röhren zu finden, welches bei der Kleinheit derselben, und der dennoch erforderlichen Genauigkeit mit einigen Schwierigkeiten verbunden ist, am zweckmäfsigsten aber durch die Abwiegung einer Säule Quecksilber in dem zu gebrauchenden Haarröhrchen geschieht[3].

Ist demnach der Durchmesser der Haarröhrchen genau bekannt, so findet man die Länge der in denselben angehobenen Säule der Flüssigkeit, und selbst die Vertiefung des Meniskus

---

1 La Place bei G. XXXIII. 26.
2 Parrot theor. Phys. I. 327.
3 S. *Caliber*.

Fig. 27. nach Gay-Lüssac[1] mit einem hierzu eigends verfertigten Instrumente. Dieses besteht aus einem Gefäfse, welches vermittelst der Stellschrauben v v v lothrecht gestellt werden kann, wie eine auf den Rand A B gesetzte Wasserwage angiebt. Auf dieses wird vermittelst der Bodenplatte a b der Apparat gesetzt, welcher in dem Falze C C das Haarröhrchen T T trägt. Ein Fernrohr N M, auf einer getheilten Stange R R verschiebbar und mit einem Mikrometer versehen, auch durch das Bleiloth F P lothrecht erhalten, zeigt den oberen Stand der Flüssigkeit S und die Höhe des Meniskus. Um aber, bei der Erhebung der Flüssigkeit am Rande des Gefäfses das Niveau in der Mitte zu finden, wird auf die Scheibe a b der Träger der mit einer Schraube versehenen Stange t t′ gestellt, und die Spitze t so lange herabgeschroben, bis sie die Oberfläche der Flüssigkeit gerade berührt, während der Apparat mit der Röhre etwas seitwärts geschoben bleibt, um durch das Herausnehmen der Röhre den Inhalt des Gefäfses nicht zu vermindern. Dann nimmt man mit einem Stechheber oder einer Pipette etwas von der Flüssigkeit heraus, um die Spitze genau zu sehen, schiebt das Fernrohr herab, bis die Spitze des Stiftes im Mikrometer erscheint, und der am Stabe vom Fernrohre durchlaufene Raum giebt die Höhe der Flüssigkeit im Haarröhrchen.

Um die von La Place aufgestellte Theorie zu prüfen, stellten Haug und Tremery mit vorzüglicher Genauigkeit einige Versuche an. In Haarröhrchen von der nämlichen Glasart vom

Durchmesser	8	$\frac{4}{5}$	$\frac{1}{4}$ mm
wurde Wasser gehoben	6,75	10	18,5 —
Orangenöl	3,40	5	9,0 —

welche Zahlen dem verkehrten Verhältnisse der Durchmesser vollkommen entsprechen. Es gehört somit für 1^{mm} eine Capillarattraction für Wasser von 13,569, für Orangenöl von $6{,}7398^{mm}$ oder für 1 Lin. par. von 6,0151 Lin. Wasser und 2,9877 Lin. Orangenöl. Die Depression des Quecksilbers wurde bei Röhren von 2 und $\frac{4}{5}$ millim. = $8\frac{2}{3}$ und 5,5 gefunden, welches für 1^{mm} eine Depression von $7\frac{1}{3}$ millim. oder für eine Linie 3,251 Lin. beträgt. Man mufs indefs bei andern vergleich-

1 Biot Traité. I. 441.

baren Versuchen die hiebei stattgefundene Temperatur von 10° C. genau beobachten, oder die gefundenen Werthe für die jedesmalige Temperatur verbessern, indem für wenig abweichende Grade der Wärme gleich schwere Säulen der Flüssigkeit gehoben werden, so daſs also der Coefficient ihrer Ausdehnung die Gröſse giebt, womit die gefundene Höhe zu multipliciren ist, um die eigentliche Gröſse zu erhalten[1]. Die Versuche, welche Gay-Lüssac mit seinem Apparate anstellte, deren Genauigkeit sonach als ganz vorzüglich anzusehen ist, gaben folgende Resultate.

Durchmesser = 2r in millim.	Höhe der Wassersäule = h bis zum tiefsten Puncte des Meniskus	Temperatur nach C.
1,29441	23,1634	8°,5
1,90381	15,5861	

Berechnet man aus der ersten Beobachtung die zweite; so ist

$$A = 0{,}647205\ (23{,}1634 + 0{,}215735) = 15{,}1311.$$

Diesen Werth in die Formel für $h = \frac{A}{r} - \frac{r}{3}$ gesetzt, giebt 15,5783, welche von dem Resultate des Versuches um eine verschwindende Gröſse abweicht, zugleich aber zeigt, das der Werth $\frac{r}{3}$ nicht vernachlässigt werden kann. Bei einem Versuche mit Alkohol fand derselbe

Durchmesser der Röhren = 2r in millim.	Höhe des Alkohol = h bis zum tiefsten Puncte des Meniskus	Temperatur nach C.
1,29441	9,18235	8°,5
1,90381	6,08397	

Das spec. Gew. des Alkohol war 0,81961 bei der angegebenen Temperatur. Aus dem ersten Versuche wurde $A' = 0{,}647025\ (9{,}18235 + 0{,}215735) = 6{,}0825$ gefunden, und hieraus $h = 6{,}0725$, gleichfalls mit dem Versuche genau übereinstimmend[2].

Das allgemeine Gesetz der Capillarität zeigt sich in sehr zahlreichen Erscheinungen. Auſser denjenigen, welche wegen des nähern Zusammenhanges mit dem untersuchten verwandten Gegenstande, nämlich den Gesetzen der Adhäsion[3] schon er-

1 Ueber diesen La Placeschen Satz s. weiter unten.

2 Biot Traité. I. 450.

3 S. Th. I. p. 186 ff.

wähnt sind, kommt zunächst das Aufsteigen der Flüssigkeiten zwischen zwei in geringem Abstande von einander befindlichen Platten in Betrachtung. Es sey demnach der Abstand der beiden lothrechten Platten von einander $= \delta$, ihr horizontaler Durchschnitt $= a$. Es werde ferner angenommen, daſs die von H bis S angehobene Flüssigkeit oben bei S durch die Oberfläche eines halben Cylinders begrenzt sey; so ist der Umfang eines horizontalen Durchschnittes der angehobenen Flüssigkeit $= 2(a + \delta)$, die Oberfläche desselben $= a\,\delta$, der Inhalt der angehobenen Wassermasse bis S $= a\,\delta\,h$, des über S befindlichen Meniskus $= \frac{a\,\delta^2}{2} - \frac{\pi\,a\,\delta^2}{8} = \frac{a\,\delta^2}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$, folglich der gesammte Inhalt $V = a\,\delta\,h + \frac{a\,\delta^2}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$. Werden diese Werthe in die oben für Haarröhrchen gefundene Formel substituirt; so ist

Fig. 28.

$$g\,D\left[a\,\delta\,h + \frac{a\,\delta^2}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)\right] = 2\,(2\,\varrho - \varrho')\,(a + \delta).$$

und auf beiden Seiten mit $a\,g\,D$ dividirt

$$\delta\left[h + \frac{\delta}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)\right] = \frac{2\,(2\,\varrho - \varrho')}{g\,D}\left(1 + \frac{\delta}{a}\right)$$

und wenn man $\frac{\delta}{a}$ vernachlässigt und $\frac{2\,(2\,\varrho - \varrho')}{g\,D} = A$ wie oben setzt $\delta\left[h + \frac{\delta}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)\right] = A.$

Ist dann δ gegen h geringe, so kann $\frac{\delta}{2}\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$ als in der Fehlergrenze der Versuche liegend betrachtet werden, und es ist $h = \frac{A}{\delta}$ oder die Höhe der angehobenen Flüssigkeit dem Abstande der Platten umgekehrt proportional. Indem ferner oben für cylindrische Haarröhrchen $h = \frac{A}{r}$ gefunden wurde, aber $\frac{A}{\delta} = \frac{A}{2\,r}$ gesetzt werden kann; so folgt, das die Flüssigkeit zwischen zwei ebenen Platten halb so hoch steht, als in einem cylindrischen Haarröhrchen von demjenigen Durchmes-

ser, welcher dem Abstande der Platten gleich ist, wie mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmt[1].

Hiermit verwandt ist ein Versuch, welchen schon Brook Taylor und Hawksbee anstellten[2]. Nimmt man zwei ebene Glasplatten ABCD, legt sie so auf einander, daſs sie sich an einer Seite B D berühren, an der andern im geringen Abstande von einander stehen, und senkt sie einige Linien tief in ein Gefäſs mit Wasser, die Linie ihrer Berührung B D lothrecht gehalten, so bilden ihre regelmäſsig abnehmenden Entfernungen ein System von Haarröhrchen, und das Wasser zwischen den Platten muſs eine ihrem Abstande von einander umgekehrt proportionale Höhe erreichen. Die Grenze dieser Höhen bildet eine Hyperbel, deren Asymptoten ein senkrechter Durchschnitt der Ebene des Wassers n m und die Linie ihrer Berührung sind. Nennt man nämlich die Entfernung der Platten bei α ... y bei β ... d; die Höhe des Wassers bei α ... h bei β ... x; so ist

Fig. 29.

$$h : x = y : d \text{ also } xy = hd$$

die Gleichung der Hyperbel zwischen rechtwinklichen Asymptoten[3]. Daſs in einer horizontal gehaltenen konischen Röhre ein Wassertropfen sich nach der engeren Seite, ein Quecksilbertropfen aber nach der weiteren bewege, folgt gleichfalls aus der Capillarität.

Manche Erscheinungen dürfen nur erwähnet werden um einzusehen, daſs sie gleichfalls zur Capillaranziehung gehören, z. B. das *Filtriren*,[4] das Feuchtwerden von Sand, Asche, Erde u. s. w. durch tiefer befindliche Flüssigkeiten, das Durchdringen der lezteren durch poröse Gefäſse, das Eingesogenwerden der Arzneien und sonstiger Substanzen durch die Gefäſse im thierischen Körper, das sogenannte Athmen der Pflanzen, das Aufsteigen der Fettigkeiten in Dochten, das Anschwellen hygroskopischer Körper bei feuchter Witterung, die Verkürzung der Seile und Zeuge durch Nässe u. dgl. m. Man kann dahin

1 Biot Traité I. 454.

2 Phil. Trans. XXVII. 538. Verg. Musschenbroek diss. de attract. p. 71. Introd. §. 1062.

3 Vergl. Lehot in Bibl. Brit. LVIII. 78, wo zugleich eine allgemeine Formel für diesen Versuch gegeben ist.

4 S. *Filtrirmaschinen*.

ferner rechnen das Eintauchen der Menschen in Seewasser zum Löschen des Durstes, die Wirkungen der Bäder u. a. Besteht ein poröser, haarröhrchenförmige Räume enthaltender Körper, z. B. Seile[1], Holz, Elfenbein u. dgl. aus einer sehr viele solcher Räume einschlieſsenden Substanz, so muſs die Kraft der Capillarität dadurch ins Unglaubliche wachsen. Daher rührt die Gewalt, womit quellendes Holz oder Elfenbein metallene Bänder zerreiſst, und man kann sogar Mühlsteine sprengen, wenn man in das Loch derselben einen trocknen Cylinder von noch frischem Holze treibt, und diesen dann langsam befeuchtet. Die Knochen der Schädel sprengt man dadurch, daſs man sie mit Erbsen füllt und diese befeuchtet, Sandsteine werden abgesprengt, indem man eine Furche darin ausarbeitet, in diese trockne hölzerne Keile treibt, und dieselben befeuchtet[2], und viele andere Erscheinungen.

Musschenbroek[3] will bemerkt haben, daſs das Wasser in einem Haarröhrchen, welches einen Cylinder von 20 Lin. Länge anhob, wenn es aus dem Wasser gezogen und langsam horizontal geneigt wurde, sich genau in die Mitte der Röhre bewegte, und dort stehen blieb. Mit Recht bemerkt Kries[4], daſs in La Place's Theorie kein Grund zu dieser Erscheinung liege, daſs aber eben deswegen, weil das Wasser in einer vollkommen horizontalen Röhre sich an jeder Stelle ihrer Länge befinden könne und überall gleichmäſsig angezogen werde, die geringste Neigung dasselbe nach der einen oder andern Seite bewege, und deswegen sein Stillstand nur in der Mitte erfolgen werde. Eine andere Erscheinung entlehnt La Lande vom Pater Abat. Wenn man nämlich ein Haarröhrchen aus dem Wasser hebt, und die angehobene Wassersäule durch Neigen desselben nach dem andern Ende flieſsen läſst, dann die Röhre abermals neigt, so daſs der enthaltene Wassercylinder wieder rückwärts flieſst, so gehört eine beträchtliche Neigung dazu, bis das Wasser das Ende der Röhre wirklich erreicht, indem es vielmehr vor dem Ende des Röhrchens stehen bleibt. Kries[5] zeigt, daſs

1 De la Hire in Mém. de l' Ac. IX. 242.
2 Robison Syst. of Mech. Phil. I. 234.
3 Diss. de tubis cap. vit. Exp. VII.
4 Gehlen J. IX. 127.
5 Ebend. p. 128.

sich dieses weder nach LA LANDE aus der inneren Anziehung der Röhre noch aus LA PLACE's Theorie erklären lasse, sondern von dem wenigen Staube und Schmutze abgeleitet werden müsse, welcher während des Versuches, obgleich mit unbewaffneten Augen nicht wahrnehmbar, sich in dem Ende des Röhrchens ansetze. Man könnte vielleicht hinzusetzen, daſs das Ende des Röhrchens durch den Einfluſs der Luft trocken werden muſs, und dann das Wasser nicht so leicht annimmt.

Unter die Phänomene der Capillarität gehört wahrscheinlich auch eine sehr interessante Beobachtung DÖBEREINER's [1], daſs Wasserstoffgas, in einer geborstenen Campane, welche, sonstige Gasarten nicht durchläſst, über Quecksilber gesperrt, entweicht und vermindert wird. Der Beobachter leitet diese Erscheinung von den kleinen Atomgewichten des Wasserstoffgas ab, welche den feinen Riſs deswegen leichter durchdringen können. Eben dieses Gas strömt auch schneller durch enge Röhrchen als andere Gasarten, und dringt leichter durch Thierblasen [2]. Aehnliche Beobachtungen, daſs nämlich geborstene Röhren nicht mehr isoliren, führten mich selbst schon früher zu der Vermuthung, das auch die Elektricität der Capillaranziehung folge.

Manche Physiker waren geneigt, das Aufsteigen des Saftes in lebenden Pflanzen als eine Wirkung der Capillaranziehung zu betrachten [3]. Daſs diese auch hierbei sich wirksam zeige, kann nicht bezweifelt werden, indem selbst abgeschnittene und mäſsig getrocknete Pflanzentheile noch die Wirkungen ihrer haarröhrchenartigen Räume durch das Einsaugen von Flüssigkeiten zeigen. Indeſs läſst sich das ganze Phänomen der *Saftbewegung* keineswegs auf die Capillarität zurückführen, wie nicht sowohl aus der Höhe folgt, bis zu welcher der Saft angehoben wird, als vielmehr daraus, daſs derselbe aus lothrecht stehenden abgeschnittenen Pflanzentheilen ausflieſst, was durchaus gegen die Capillartheorie streitet. Auſserdem aber ergeben die von mir und dem hiesigen Universitätsgärtner METZGER

1 Aus seiner Abhandlung hierüber in FERUSSAC Bulletin des Sc. Math. Phys. 1824. Fevr. p. 112.

2 Verwandte Erscheinungen s. Th. I. p. 200.

3 ROBISON System of Mech. Phil. I. 223.

mit abgeschnittenen Weinreben angestellten Versuche, dafs die den Saft auftreibende Kraft vorzüglich in den feinen Wurzelfasern zu suchen sey, indem der Saft der abgeschnittenen Weinreben und ihrer gröfseren Wurzeln in aufgesetzen Glasröhren von 1 bis 4 Lin. innerem Durchmesser bis 20 par. F. und noch weiter in die Höhe getrieben wurde[1]. Die wirkende Ursache ist also in einer dem Pflanzenleben eigenthümlichen Kraft zu suchen, wie schon BELL gezeigt hat[2]. Auch das Anschwellen und Verkürzen der thierischen Muskeln bei erhöheter Thätigkeit derselben ist zwar mit vermehrtem Andringen des Blutes und der Säfte in die Gefäfse verbunden, aus einer Capillaranziehung aber deswegen nicht erklärlich, weil das Volumen der Muskeln sich dann nicht vermehrt, sondern vermindert, wie genaue Versuche hierüber ergeben[3].

Diejenigen Flüssigkeiten, bei welchen ϱ' gröfser ist als 2ϱ müssen *Capillardepression* zeigen, oder aber die Capillarattraction ist negativ. Dieses Resultat folgt nothwendig aus LA PLACE's Theorie, sobald die obere Fläche convex ist statt concav. Man darf also allgemein sagen, dafs Capillarattraction statt findet, wenn die Oberfläche der Flüssigkeit concav ist, Cappillardepression, wenn sie convex ist, und keins von beiden, wenn sie genau horizontal gefunden wird. Am wichtigsten in dieser Hinsicht ist das Verhalten des Quecksilbers in Glasröhren, weil hieraus ein Einflufs auf die Länge der Quecksilbersäule im Barometer hervorgehen mufs[4]. Es kann sonach nur ein solches Barometer als ein absolut richtiges angesehen werden, welches eine ganz ebene Oberfläche hat, jedes andere mufs aber wegen dieser modificirenden Bedingung corrigirt werden. Man leitet, in Uebereinstimmung mit den annalogen Erscheinungen der Adhäsion, die Depression des Quecksilbers in Glasröhren von einer gröfseren Anziehung der Theile des Quecksilbers zu einander als zu der Oberfläche des Glases ab[5].

---

1 SCHWEIGG. J. 1823.

2 Manch. Mem. II. in Bibl. Brit. IX. 67.

3 Vergl. D. BERNOULLI in Com. Pet. I. 297. RUDOLPHI Physiolog. II. 308.

4 S. *Barometer*.

5 LIBES Traité élémentaire de Physique 1re ed. III vol. 8. Par. an IX (1801) II. 23.

Hiergegen streitet aber die gemeine Erfahrung, dafs in gut ausgekochten Barometern die Quecksilbersäule in der Röhre ganz festhängt, und erst nach einer Erschütterung herabfällt. Eben dieses zeigt sich, wenn man das Barometer auch späterhin einige Zeit in umgekehrter Lage läfst, insbesondere aber, wenn man sie in dieser Richtung trägt oder mäfsig aufstöfst und erschüttert. Diese Erscheinung ist vor längerer Zeit bekannt gewesen, und Huygens[1] beobachtete schon, dafs eine Säule von 75 Z. Länge auf diese Weise getragen wurde, welches er dem Drucke eines, die Luft nicht durchdringenden Aethers beilegte. Brounker[2] war mit ihm hierin einverstanden. Daher zeigte Haüy[3], die Depression sey eine Folge der Feuchtigkeit, welche dem Glase oder Quecksilber anhänge, und berief sich hierbei auf einen Versuch von Casbois, welcher gefunden haben wollte, dafs trocknes Quecksilber in trocknen Röhren vielmehr Capillarattraction zeige. Milon stellte deswegen Versuche an mit Quecksilber, welches eine geraume Zeit gesiedet hatte, und mit Röhren, welche bis nahe zur Glühhitze erhitzt waren, fand aber die Depression hierbei sowohl in den Röhren als auch zwischen denselben, wenn sie neben einander in Quecksilber getaucht wurden, eben so stark, als bei feuchtem Quecksilber[4].

Wenn gleich gegen die Genauigkeit dieser Versuche nichts einzuwenden seyn mag, so entscheiden doch zugleich zahllose andere beim Auskochen der Barometer angestellte, dafs die Entfernung der Luft und Feuchtigkeit die Capillardepression zwischen Glas und Quecksilber aufhebt, weswegen das Auskochen der Barometer eine unerläfsliche Bedingung ihrer Genauigkeit ist, und man mufs daher mit Haüy, Bellani[5] u. a. annehmen, dafs die dem Quecksilber anhängenden Theile von Luft und Feuchtigkeit seine Adhäsion zum Glase aufheben. Vielleicht waren diese durch Casbois mehr weggeschaft, als durch Milon, und beruhete hierauf die Verschiedenheit der

1 Phil. Trans. VII. 4128.
2 Ebend. VIII. 4260.
3 Séances de l'École Normale III. p. 60. Vergl. J. de P. LIV. 129.
4 J. de Ph. LIV. 129.
5 Brugnatelli G. III. 291.

durch beide erhaltenen Resultate. Hieraus ergiebt sich aber weiter, dafs es sehr schwer ist, die absolute Depression des Quecksilbers in Haarröhrchen zu bestimmen[1]. Nimmt man indefs gewöhnliches, trocken genanntes Quecksilber, so hat hierfür Bouvard nach La Place's Formel diejenigen Höhen berechnet, welche den verschiedenen Durchmessern der Röhren zugehören, und mit den Versuchen von Young, Ivory und Cavendish verglichen, wie die nachfolgende Tabelle in Millim. angiebt[2].

Durchm. d. Röhre	Depress. nach La Place	nach Dr. Young	nach Ivory	nach Cavendish
21,0	0,030	0,024	0,024	
20,0	0,034			
19,0	0,038	0,031	0,031	
19,5	0,043			
19,0	0,049	0,041	0,042	
18,5	0,056			
18,0	0,064	0,053	0,054	
17,5	0,073			
17,0	0,083	0,068	0,071	
16,5	0,094			
16,0	0,107	0,088	0,087	
15,5	0,121			
15,0	0,137	0,111	0,118	0,131
14,5	0,156			
14,0	0,176	0,144	0,152	0,150
13,5	0,198			
13,0	0,223	0,188	0,196	0,170
12,5	0,250			
12,0	0,281	0,242	0,253	0,200
11,5	0,315			
11,0	0,354	0,311	0,316	0,270
10,5	0,397			
10,0	0,445	0,402	0,406	0,406

1 Wie dieses beim Barometer geschehen könne, darüber s. *Barometer*.

2 Ann. de Chim. et de Phys. XXII. 333.

Durchm. d. Röhre	Depress. nach La Place	nach Dr. Young	nach Ivory	nach Cavendish
9,5	0,500			
9,0	0,562	0,517	0,521	0,608
8,5	0,632			
8,0	0,712	0,669	0,673	0,820
7,5	0,803			
7,0	0,909	0,869	0,868	1,073
6,5	1,030			
6,0	1,171	1,139	1,134	1,377
5,5	1,337			
5,0	1,534	1,510	1,513	1,735
4,5	1,774			
4,0	2,068	2,063	2,066	2,187
3,5	2,442			
3,0	2,918	2,986	2,988	3,054
2,5	3,568			
2,0	4,454	4,887	4,888	4,472

La Place's Theorie der Capillarität ist jetzt wohl so ziemlich von allen Physikern allgemein angenommen, und wird auch bei genauer und genügender Prüfung den Beifall derselben stets erhalten; wo dieses aber nicht der Fall ist, da wird dieselbe entweder nicht völlig verstanden, oder vielmehr wegen des darauf verwandten weitläuftigen und schwierigen Calculs nicht gehörig erkannt. Man könnte immer die Frage aufwerfen, weswegen so viel höherer Calcul auf ein so leicht in seiner Einfachheit darstellbares Problem verwandt ist? Hierauf läſst sich indeſs erwiedern, daſs eben dieser dem groſsen Geometer am meisten geläufig ist, und dann muſs man wohl berücksichtigen, daſs derselbe die Aufgabe, welche eigentlich die gesamte Anziehung in unmeſsbarer Ferne begreift, in ihrem ganzen Umfange zum Gegenstande seiner Untersuchung gewählt hat, wodurch die mannigfaltigen, hierauf zurückgeführten Erscheinungen erklärlich werden, und hieraus ergiebt sich denn auch der Umfang, in welchem der Gegenstand behandelt ist.

Rücksichtlich der übrigen bedeutenden Untersuchungen über diesen Gegenstand hat Th. Young schon 1804, also vor

der Bekanntwerdung der La Placeschen Theorie eine schätzbare Abhandlung darüber bekannt gemacht[1], und darin zugleich die Erscheinungen der Adhäsion im Allgemeinen berücksichtigt. Später hat derselbe gegen La Place errinnert, daſs er bei seiner Formel die Temperatur nicht berücksichtigt habe, ein Einwurf, dessen Gültigkeit La Place selbst zugesteht[2]. Es ist schon oben bemerkt, daſs La Place, und nach ihm Biot[3] annehmen, der Einfluſs der Temperatur sey bloſs in sofern zu berücksichtigen, als die angehobene Säule der Flüssigkeit durch Wärme mehr ausgedehnt, mithin leichter werde, wonach also bei bekanntem Gesetze der Ausdehnung einer gegebenen Flüssigkeit die Höhe der angehobenen Säule leicht corrigirt werden könnte. Allein dieses ist sicher nur für sehr geringe Temperaturunterschiede zulässig, indem wohl nicht bezweifelt werden kann, daſs eben wie die Cohäsion auch die Adhäsion sowohl der Theile der Flüssigkeiten unter einander als auch gegen die Wände der festen Körper, und somit auch die Capillarität geändert wird. Das Gesetz aber, wonach diese Aenderung erfolgt, ist bis jetzt noch nicht aufgefunden, und kann ohne genaue und schwierige Versuche nicht wohl aufgefunden werden, wonach sich also demnächst erst ergeben müſste, welchen Einfluſs dasselbe auf die Formel La Place's haben kann, indem die Theorie selbst schwerlich dadurch wesentlich geändert werden würde.

Es wird diesemnach überflüssig seyn, verschiedene Kritiken der La Placeschen Theorie hier näher zu erläutern und zu würdigen, und mag vielmehr eine bloſs historische Erwähnung genügen. Am wenigsten gewichtig sind die Einwendungen, welche Tardy de la Brossy[4] dagegen gemacht hat, indem er hauptsächlich den Begriff der Attraction zu unbestimmt aufgefaſst und in der Theorie selbst keine Uebereinstimmung der Schlüsse mit den Phänomenen finden will. Von einem andern Gesichtspuncte geht Belli[5] aus, indem er zu beweisen sucht, die moleculäre Anziehung oder die Anziehung in unmeſsbare Ent-

1 Phil. Trans. 1805. I. 65.
2 Ann. de Ch. et P. XII. 7.
3 Traité 1. 454.
4 Bibl. Brit. XXXVII. 1 ff.
5 Brugnatelli G. VII. 191.

fernung müsse als Grundlage angenommen werden, um eine Theorie der Capillaranziehung darauf zu gründen, dieselbe wirke aber in einer höheren Potenz als der umgekehrten fünften der Enfernung. Am ausführlichsten und mit einem grofsen Aufwande des Calculs hat BRUNACCI[1] dieselbe geprüft, mit den von PESSUTI und CLAIRAUT aufgestellten verglichen, und findet sie weder im Principe gehörig begründet, noch auch alle Erscheinungen hinlänglich erklärend, welcher Meinung auch LEOPOLDO NOBILI[2] beitritt. Hieran darf man auch die Kritik reihen, welche G. F. PARROT[3] von der LA PLACEschen Theorie gegeben hat, welche zugleich eine eigenthümliche Darstellung des Capillaritäts-Gesetzes und verschiedene Versuche enthält. Dagegen hat neuerdings RUDBERG[4] eine mit LA PLACE's Grundsätzen übereinstimmende elegante mathematische Theorie der Capillarattraction gegeben[5]. *M.*

Cardinalpuncte.

Hauptgegenden der Welt; *Puncta cardinalia, cardines mundi;* points cardinaux; *Cardinal Points.* Die vier Puncte des Horizonts, in deren zweien er vom Mittagskreise in den zwei übrigen vom Aequator durchschnitten wird.

Der *Nordpunct* oder Mitternachtspunct; der *Südpunct* oder Mittagspunct; der *Ostpunct* oder Morgenpunct; der *Westpunct* oder Abendpunct[6]. *B.*

---

1 Ebend. IX. 7. 127. 168. 241. 348. Vergl. Ann. de Ch. et P. IV. 54.

2 Sopra la Identità dell' attrazione molecolare colla astronomica. Modena 1818. in Appendice.

3 Ueber die Capillarität. Eine Kritik der Theorie des Grafen LA PLACE u. s. w Dorpat (1816).

4 Denkschriften der Kön. Soc. d. Wiss. zu Stockholm. 1819 — 21. Die Abhandlung selbst habe ich nicht erhalten können.

5 Aufser der angegebenen Literatur verdienen noch berücksichtigt zu werden SEGNER in Com. Gott. 1751. I. 301. C. CAVENDISH berechnete Depressionen des Quecksilbers in Phil. Trans. 1776. p. 382. MONGE in Mém. de l'Ac. 1787. p. 506. auch in NICHOLS. J. III. 269. LESLIE in Phil. Mag. XIV. 193.

6 S. *Weltgegenden.*

Centralbewegung.

Motus centralis; nennt man die Bewegung, welche durch eine, gegen einen unveränderlichen Mittelpunct gerichtete Kraft bestimmt wird.

1. Wenn der durch eine solche Kraft gegen den Mittelpunct angezogene oder von dem Mittelpuncte abgestoſsene Punct nicht etwa eine Bewegung hat, deren Richtung mit der Richtung der Kraft zusammentrifft; so ist die so entstehende Bewegung allemal eine krumlinigte. Es ist nämlich einleuchtend, daſs ein Körper (den wir übrigens hier als einen einzigen Punkt ansehen), wenn er eine Geschwindigkeit nach der Richtung A B hat, und vermöge dieser in 1 Sec. von A nach B gelangen würde, nicht den Weg A B durchlaufen kann, wenn eine nach C anziehende Kraft auf ihn wirkt, sondern, wenn diese allein in 1 Sec. ihn nach D bringen würde, so durchläuft er in 1 Sec. die Diagonale A E, vermöge der Gesetze der Zusammensetzung der Kräfte oder Geschwindigkeiten[1].

Fig. 30.

In der nächsten Secunde durchläuft er wieder nicht die Verlängerung der A E, sondern wenn man auf dieser Verlängerung E F = A E nimmt, und nun E H auf E C so groſs setzt, als der Weg ist, durch welchen die anziehende Kraft für sich allein den Körper in eben der Zeit treiben würde, so ist wieder die Diagonale E G als der wahre Weg des Körpers anzusehen. Eigentlich freilich ist die Bahn des Körpers nicht aus den geraden Stücken A E, E G, zusammengesetzt, sondern wegen der unaufhörlich einwirkenden Kraft wird die Bahn eine krumme Linie, zu welcher die eben angegebenen geraden Linien ebenso eine Annäherung geben, wie das Polygon im Kreise zum Kreise selbst.

2. Die eben angeführte Betrachtung zeigt, *daſs der von dem Körper, auf welchen eine Centralkraft wirkt, beschriebene Sector A C G der Zeit proportional ist, die gegen C wirkende Kraft sey, nach welchem Gesetze man will, veränderlich.*

Wirkte die Kraft gar nicht, so würde in Beziehung auf

---

1 S. *Bewegung* Th. I. 933.

den Punct C der Sector A C B vermöge der anfänglichen Geschwindigkeit durchlaufen; aber der bei vorausgesetzter Einwirkung der Kraft beschriebene Sector A E C ist eben so groß, weil die Dreiecke A B C, A E C einerlei Grundlinie A C und gleiche Höhen haben. Eben so groß würde im zweiten Zeittheilchen der Sector E C F seyn, wenn die Kraft nicht aufs neue einwirkte, weil dann mit der schon erlangten Geschwindigkeit ein Weg E F = A E durchlaufen würde, und E F = A E auf derselben geraden Linie lägen, also die Dreiecke A E C, E F C an Inhalt gleich wären; aber da aus dem Vorigen schon erhellet, das auch der Flächenraum E C F = E C G; so ist E C G = A C E. So werden also in gleichen Zeittheilen gleiche Flächenräume zurückgelegt, und in ungleichen Zeiträumen sind die Sectoren den Zeiten proportional, ohne daß dabei die absolute Größe der Kraft, noch auch, ob sie gleich wirkend bleibt oder nicht, in Betrachtung kömmt.

Dieses ist die theoretische Ableitung des ersten Keplerschen Gesetzes[1].

8. *Wenn der Körper in einem gegebenen Abstande = C A die Geschwindigkeit = c hat, so wird die vermöge der Centralkraft geänderte Geschwindigkeit = v in jeder Entfernung = C V eben so groß seyn, wie sie seyn würde, wenn der Körper gerade gegen C zu bewegt, von A nach W, wo C W = C V ist, durch die Kraft in C getrieben wäre.* Fig. 31.

Es sey zuerst V sehr nahe bei A, so daß man die Kraft als gleichförmig wirkend während der Bewegung von A nach V im einen, oder von A nach W im andern Falle, ansehen kann. Dann ist die Zunahme der Geschwindigkeit beim Falle durch A W der Zeit proportional, also = 2 g p t, wenn p die Kraft, in Vergleichung gegen die als Einheit betrachtete Schwerkraft und 2 g die durch die Schwere in der Zeiteinheit bewirkte Geschwindigkeit bedeutet. Die nach A V wirksame Kraft ist = p. Cos C A V und in gleicher Zeit = t würde also auf A V die Zunahme der Geschwindigkeit 2 g p t. Cos C A V betragen; da aber A V : A W = 1 : Cos C A V, so ist die zum Durchlaufen von A V verwendete Zeit (weil die Anfangsgeschwin-

---

1 S. *Bahn, der Planeten.*

digkeit sowohl für den durch A W als durch A V laufenden Körper einerlei, zum Beispiel = c ist) = $\frac{t.}{\text{Cos } CAV}$, und folglich in dieser Zeit die Zunahme der Geschwindigkeit = 2 g p t, ebenso wie bei der Bewegung auf A W.

Man kann dieses kurz so ausdrücken: die Zunahme der Geschwindigkeit ist für einen kleinen Raum, wo die Kraft ungeändert bleibt, sowohl der Kraft als der Zeit, während welcher sie wirkt, proportional: nun ist zwar die nach A V wirkende Kraft kleiner als die nach A W wirkende, aber die auf A V verwandte Zeit in eben dem Maſse gröſser, so daſs das Product beider Gröſsen ungeändert bleibt.

Gilt dies aber für ein kleines Stück A V des Weges, so gilt es auch für das nächste und so fort, so daſs auch in Z die Geschwindigkeit so groſs geworden ist, wie sie bei einem von A geradezu nach Y gelangenden Körper wäre, wenn beide mit gleicher Geschwindigkeit von A ausgegangen wären, und C Y = C Z ist.

4. Wenn der Körper in einer gekrümmten Bahn um den Mittelpunct läuft, so hat die Kraft, die ich als eine anziehende betrachten will, eine doppelte Wirkung, indem sie erstlich die Geschwindigkeit vermehrt, wenn sich der Körper dem Centro nähert, oder sie vermindert, wenn die Entfernung vom Centro zunimmt, und zweitens ihn in seiner Bahn erhält, oder hindert, daſs er nicht, wie die Trägheit es fordern würde, nach der Tangente fortgeht. Man kann sich daher in jedem Puncte der Bahn die anziehende Kraft als zerlegt in eine nach der Richtung der Tangente und in eine nach der Richtung der Normallinie vorstellen, wo dann jene die eben erwähnte erste, diese die zweite Wirkung hervorbringt.

Die *Bahn*, welche der Körper durchläuft, kann nach Verschiedenheit der anziehenden Kräfte sehr verschieden seyn, und für die abstoſsenden Kräfte gilt etwas ganz hiemit übereinstimmendes.

Kreisbewegung.

Fig. 32. 5. Wenn ein gegen C hin von einer bestimmten Kraft angezogener Körper A nach einer auf A C senkrechten Richtung fort-

geschleudert wird, so bleibt er auf einem Kreise, wenn die anziehende Kraft allein wirkend ihn in einem kurzen Zeittheilchen eben so viel näher zum Mittelpuncte C hinzöge, als er auf A B fortgehend sich in gleicher Zeit von C entfernen würde.

Es sey die Kraft p mal so groſs als die Schwere und daher die in einer kurzen Zeit $= t$ vermöge dieser Kraft allein erlangte Geschwindigkeit $= 2\,g\,p\,t$ (wenn $2\,g$ die durch die Schwere in der Zeiteinheit bewirkte Geschwindigkeit ist), der durchlaufene Weg $= g\,p\,t^2$. Um so viel = A D würde der Körper sich von der senkrechten A B entfernen, wenn eine solche mit A C parallel wirkende Kraft immer fort auf den in A zuerst ruhenden Körper wirkte; aber auch, wenn während der Fortbewegung nach A B eine mit A C parallel bleibende Kraft fortwirkte, würde eben die Entfernung von der Richtungslinie A B hervorgebracht werden. Nennen wir nun ferner die Geschwindigkeit des Körpers, die er in A hat, um auf A B fortzugehen ... c, so würde der in der Zeit t durchlaufene Raum $= c\,t$ seyn, und wenn $A\,B = c\,t$ ist, so gelangt der Körper vermöge der Wirkungen beider Kräfte in dieser Zeit nach E, wenn A B E D ein Parallelogramm ist. Damit nun

$CE = CA$ sey, muſs seyn:

$$DE : AD = \text{Sin } ACE : \text{Sin vers. } ACE$$

$$\text{oder } ct : gpt^2 = \text{Sin } ACE : 1 - \text{Cos } ACE.$$

$$= \sqrt{(1 + \text{Cos } ACE)} : \sqrt{(1 - \text{Cos } ACE)},$$

$$\text{oder } c : gpt = 1 : \text{Tang. } \tfrac{1}{2} ACE.$$

Bei so kleinen Bogen aber, wie sie hier vorausgesetzt werden, ist

$$\text{Tang. } \tfrac{1}{2} ACE = \frac{\tfrac{1}{2} \text{ Bogen } AE}{r},$$

wenn $CA = r$ ist, und

Bogen AE ist sehr nahe $= c\,t$,

$$\text{also } c : g\,pt = 1 : \frac{c\,t}{2\,r},$$

$$\text{das ist } p \text{ muſs } = \frac{c^2}{2\,g\,r}$$

seyn, damit der Körper in derselben Entfernung bleibe.

Anmerkung. Diese Bestimmung ist vollkommen richtig, sie erscheint aber als unvollkommen, weil Gröſsen, die allerdings nicht viel verschieden seyn können, geradezu als ge-

nau gleich mit einander vertauscht sind. Diese Unvollkommenheit vermeidet man, wenn man Grenzen angiebt, zwischen welchen die Kraft nothwendig enthalten seyn muſs, und diese kann man strenge bestimmen, ohne sich schwieriger Rechnungen und höherer Analysis zu bedienen; wie ich es in meinem Lehrbuche[1] gezeigt habe. Eine solche Bestimmung bewährt die Richtigkeit des eben Gefundnen.

6. Eine so groſse anziehende Kraft muſs also dem Mittelpuncte eigen seyn, wenn der Körper im ersten Augenblicke und eben deshalb auch unaufhörlich sich auf dem Umfange desselben Kreises erhalten soll. Die Geschwindigkeit des bewegten Körpers bleibt dabei ungeändert, da die auf die Richtung der Bewegung senkrechte Kraft dem Körper weder eine gröſsere Geschwindigkeit ertheilen, noch auch die erlangte schwächen kann. Die anziehende Kraft hat also einzig die Wirkung, zu hindern, daſs der Körper sich nicht vom Mittelpuncte entferne, und wir sehen sie daher an, als gerade entgegen wirkend einer Kraft, die diese Entfernung vom Mittelpuncte zu bewirken strebt, und die daher Centrifugalkraft oder Schwungkraft heiſst. Der Ausdruck $p = \frac{c^2}{2gr}$ ist daher als das Maſs dieser Schwungkraft anzusehen, die folglich im directen Verhältnisse des Quadrates der Geschwindigkeit und im umgekehrten Verhältnisse des Halbmessers desjenigen Kreises, auf welchem die Bewegung geschieht, stehet.

7. Wenn der Körper mit der unveränderlichen Geschwindigkeit $= c$ den Umfang $= 2\pi r$ des Kreises vom Halbmesser $= r$ durchläuft, so ist die ganze Umlaufszeit $T = \frac{2\pi r}{c}$, oder $c = \frac{2\pi r}{T}$, und folglich ist auch $p = \frac{c^2}{2gr} = \frac{2\pi^2 r}{gT^2}$, oder die Schwungkraft ist direct dem Halbmesser des Kreises und umgekehrt dem Quadrate der Umlaufszeit proportional[2].

8. Sollen durch die anziehende Kraft eines und desselben

---

1 Lehrbuch der Gesetze des Gleichgewichts u. d. Bewegg. fester u. flüss. Körper von Brandes. II. 78.

2 Vergl. *Centrifugalkraft.*

Körpers zum Beispiel der Sonne im Planetensystem verschiedene Körper in verschiedenen Entfernungen auf ihren Kreisen erhalten werden, so ist p eine in verschiedenen Abständen ungleiche Kraft. Weiſs man nun aus Keplers Untersuchungen, daſs bei den Planeten die Quadrate der Umlaufszeiten sich wie die Kubi der Abstände verhalten (*Keplers drittes Gesetz*) so ist, wenn r und T sich auf den einen, r′ und T′ sich auf den andern Planeten beziehen, und p, p′, die anziehenden Kräfte bedeuten nach dem Gesetze der Schwungkräfte, denen jene anziehenden Kräfte das Gleichgewicht halten müssen,

$$p : p' = \frac{r}{T^2} : \frac{r'}{T'^2},$$

aber nach dem dritten Keplerschen Gesetze

$$\text{auch } T^2 : T'^2 = r^3 : r'^3,$$

$$\text{also } p : p' = \frac{r}{T^2} : \frac{r^3}{r'^2 . T^2} = \frac{1}{r^2} : \frac{1}{r'^2},$$

die anziehenden Kräfte müssen sich, wie die Quadrate der Entfernungen umgekehrt verhalten, wenn das dritte Keplersche Gesetz richtig ist.

Allgemeine Untersuchung über die Centralbewegung.

9. Wenn der Körper auch nicht auf einem Kreise fortgeht, so kann man dennoch die Schwungkraft, die er vermöge der Bewegung auf seiner Bahn in jedem Puncte erlangt, berechnen. Jeder kleine Theil einer Curve kann nämlich als mit einem kleinen Kreisbogen zusammenfallend angesehen werden, und der Halbmesser dieses Kreises, welcher der Krümmungshalbmesser der Curve in eben diesem Puncte heiſst, dient ebenso zur Bestimmung der Schwungkraft wie vorhin, wo der Körper den ganzen Kreis durchlief. Man kann daher, um kurz zu übersehen, worauf die Bestimmung der Bewegung beruht, nur folgende Ueberlegung anstellen.

Es sei C der anziehende Mittelpunct, A der Punct, wo der Körper sich in seiner Bahn befindet, und A B die Tangente der Bahn. Zerlegt man nun die beschleunigende Kraft, die auf A nach der Richtung A C wirkt, in eine auf A B senkrechte und in eine damit parallele, so wird die letztere angewandt, Fig. 30.

um die Geschwindigkeit zu vermehren, wenn C A B ein spizzer Winkel, zu vermindern, wenn C A B ein stumpfer Winkel ist; die erstere aber muſs der Schwungkraft das Gleichgewicht halten, und man kann daher entweder die in A wirkende Kraft bestimmen, wenn die Bahn des Körpers bekannt ist, oder man kann umgekehrt angeben, wie groſs der Krümmungshalbmesser der Curve an dieser Stelle seyn muſs, wenn man die Gröſse der Kraft und die dort stattfindende Geschwindigkeit kennt. Ein Beispiel wird dies erläutern.

10. Nach KEPLERS Bestimmungen bewegen sich die Planeten in Ellipsen, in deren Brennpuncte die Sonne steht, und die um die Sonne beschriebenen Sectoren sind der Zeit proportional. Die letzte Bemerkung läſst uns schlieſsen, daſs die Kraft, welche den Planeten in seiner Bahn erhält, in der Sonne im Brennpuncte der Ellipse ihren Sitz hat; wir wollen daher für einige Puncte der Ellipse die Gröſse dieser Kraft zu bestimmen suchen.

Wenn die halbe groſse Axe der Ellipse $= a$, die halbe kleine Axe $= b$ heiſst, so ist der Inhalt der Ellipse $= a. b. \pi$, weil er sich zum Inhalt eines Kreises vom Halbmesser a verhält, wie $b : a$. Nenne ich T die in Secunden ausgedrückte Umlaufszeit, so ist $\frac{a b \pi}{T} =$ dem in 1 Sec. beschriebenen Sector. Befindet sich nun der Körper in der groſsen Axe und zwar in dem Puncte A, welcher der Sonne C am nächsten ist, so ist seine Entfernung $C A = a - \sqrt{(a^2 - b^2)}$; und wenn A B den in 1 Sec. durchlaufenen Bogen vorstellt, und $AB = c$ ist, so hat man (Fig. 33.)

den Sector $A C B = \frac{1}{2} c. (a - \sqrt{(a^2 - b^2)}) = \frac{a b \pi}{T}$,

wodurch $c = \frac{2 a b \pi}{T (a - \sqrt{(a^2 - b^2)})}$ bestimmt ist. Der Krümmungshalbmesser der Ellipse ist in diesem Puncte $= \frac{b^2}{a} = r$,

und folglich die Schwungkraft $= \frac{c^2}{2 g r} =$

$$\frac{4 a^2 b^2 \pi^2}{T^2 (a - \sqrt{(a^2 - b^2)})^2} \cdot \frac{a}{2 g b^2} = \frac{2 a^3 \pi^2}{g T^2 f^2},$$ wenn ich $(a - \sqrt{(a^2 - b^2)}) = f$ nenne.

Am andern Ende der grofsen Axe bei G sey c′ die Geschwindigkeit, f′ die Entfernung, so ist, weil auch da die Richtung der Bewegung senkrecht auf den Radius Vector ist, der Sector $= \frac{1}{2} c' f' = \frac{a\,b\,\pi}{T.}$, also $c' = \frac{2\,a\,b\,\pi}{T.\,f'}$, und die Schwungkraft $= \frac{2\,a^3\,\pi^2}{g.\,T^2.\,f'^2}$. Also verhalten sich die Schwungkräfte an beiden Enden der grofsen Axe, umgekehrt wie die Quadrate der Entfernung wie $\frac{1}{f^2} : \frac{1}{f'^2}$, und eben so mufs sich also die dieser Schwungkraft hier genau entgegengesetzte Anziehungskraft der Sonne verhalten, weil sie es ist, die den Körper hindert, der Trägheit zu folgen, und ihn nöthigt, in dieser bestimmten Bahn zu bleiben.

Wir wollen noch als dritten Punct der Bahn den Endpunct der kleinen Axe betrachten. Wenn E der Mittelpunct der Bahn, D der Endpunct der kleinen Axe ist, so ist hier die Richtung der Bewegung auf E D senkrecht; der Abstand C D vom Brennpuncte ist hier $= a$, und wenn D H $= c''$ hier den Weg in einer Secunde bedeutet, so ist der Sector D C H $= \frac{1}{2} c''.\, b.$ weil des Sectors Höhe D E $= b$ ist, also $c'' = \frac{2\,a\,b\,\pi}{T.\,b} = \frac{2\,a\,\pi}{T}$.

Der Krümmungshalbmesser der Ellipse ist an dieser Stelle $= \frac{a^2}{b}$, also die Schwungkraft $= \frac{4\,a^2\,\pi^2}{T^2}.\ \frac{b}{2\,g\,a^2} = \frac{2\,b\,\pi^2}{g\,T^2}$.

Hier ist es aber nicht die gesammte Attractionskraft der Sonne, die der Schwungkraft entgegen wirkt, sondern wenn die ganze Kraft nach der Richtung D C, ..., p″ heifst, so ist der Theil derselben, der senkrecht gegen die Bahn gerichtet ist,

$$= p''.\ \text{Cos.}\ C\,D\,E = \frac{p''\,b}{a},$$

$$\text{also mufs}\ \frac{p''\,b}{a} = \frac{2\,b\,\pi^2}{g\,T^2}$$

$$\text{oder}\ p'' = \frac{2\,a\,\pi^2}{g\,T^2}\ \text{seyn.}$$

Die Werthe der Normalkraft in den drei betrachteten Puncten sind allso $\frac{2\,a\,\pi^2.\,a^2}{g\,T^2.\,f^2}$; $\frac{2\,a\,\pi^2.\,a^2}{g\,T^2\,f'^2}$; $\frac{2\,a\,\pi^2}{g\,T^2}.\ \frac{a^2}{a^2}$,

sie verhalten sich also wie $\frac{1}{f^2} : \frac{1}{f'^2} : \frac{1}{a^2}$, oder umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen f, f′, a. Für andere Puncte der Ellipse würde man dasselbe Gesetz bestätigt finden.

11. Um aber die Frage, ob die Bewegung, wenigstens in Beziehung auf die betrachteten drei Puncte, ganz einer solchen, im umgekehrten Verhältnifs des Quadrates der Entfernungen wirkenden Kraft gemäfs sey, sollten wir auch noch die Geschwindigkeiten c, c′, c″ näher betrachten. Es sollte, damit der Gleichheit der Sectoren Genüge geschähe, für die gröfseste Entfernung $f' = a + \sqrt{(a^2 - b^2)}$, $c' = \frac{2ab\pi}{Tf'}$; für die mittlere Entfernung $= a$, $c'' = \frac{2a\pi}{T}$; für die kleinste $f = a - \sqrt{(a^2 - b^2)}$ die Geschwindigkeit $c = \frac{2ab\pi}{Tf}$ seyn.

Um hier nicht die ganze Lehre von der Bestimmung der Geschwindigkeit eines frei gegen einen anziehenden Mittelpunct fallenden Körpers einzuschalten, will ich den Satz als erwiesen annehmen, dafs, wenn C, C′ die Geschwindigkeiten sind, die dieser Körper in den Entfernungen F, F′ hatte, $C^2 - C'^2 = 4gl^2 \left\{\frac{F' - F}{F.F'}\right\}$ seyn mufs, wenn die Kraft den Quadraten der Abstände umgekehrt proportional ist, und l hier eine von der absoluten Gröfse der Kraft abhängende Gröfse bedeutet. In unserm Falle ist nun $c^2 - c'^2 =$

$$\frac{4a^2b^2\pi^2}{T^2}\left(\frac{1}{f^2} - \frac{1}{f'^2}\right) = \frac{4a^2b^2\pi^2}{T^2} \cdot \frac{(f' + f)(f' - f)}{f^2 f'^2}$$

und $c^2 - c''^2 = \frac{4a^2b^2\pi^2}{T^2}\left(\frac{1}{f^2} - \frac{1}{b^2}\right) = \frac{4a^2b^2\pi^2}{T^2} \cdot \frac{(b+f)(b-f)}{b^2 f^2}$,

oder weil $f' + f = 2a$ und $f'.f = b^2$ ist,

$c^2 - c'^2 = \frac{8a^3\pi^2(f' - f)}{T^2 \; ff'}$, wie es nach der durch C, F ausgedrückten allgemeinen Formel seyn mufs; und weil

$$b^2 - f^2 = 2\sqrt{(a^2 - b^2)}.(a - \sqrt{(a^2 - b^2)})$$

oder $b^2 - f^2 = 2\sqrt{(a^2 - b^2)}.f$, ist, $c^2 - c''^2 =$

$\frac{8\,a^2 \pi^2}{T^2} : \frac{\sqrt{(a^2 - b^2)}}{f} = \frac{8\,a^3 \pi^2}{T^2} \cdot \frac{(a - f)}{a f}$, welches gleichfalls jener Formel gemäſs ist.

12. Diese Betrachtungen werden hinreichen, um denen, die ohne höhere Analysis die Gründe für die theoretische Bestimmung der Planetenbahnen zu übersehen wünschen, den Weg zu zeigen; ich gehe jetzt zu gründlichern Untersuchungen über.

Es sey C der Mitterpunct der Kräfte, A B die noch unbekannte Bahn des Körpers, die durch den Winkel $A\,C\,B = \varphi$ und den Abstand $C\,B = z$ bestimmt werden soll. Ist nun B D die an die Bahn in B gezogene Tangente und p die Gröſse der in B wirkenden beschleunigenden Kraft, so ist, wenn man die Senkrechte $C\,D = w$ auf die Tangente vom Mittelpuncte aus fället, die mit B D parallele, die Bewegung beschleunigende Kraft $= \frac{p\sqrt{(z^2 - w^2)}}{z}$; Fig. 34.

die auf die Richtung der Bewegung senkrechte Kraft $= \frac{p.\,w}{z}$.

War nun die in B erlangte Geschwindigkeit $= v$, so ist $d\,v = \frac{2\,g\,d\,t.\,p.\,\sqrt{(z^2 - w^2)}}{z}$ oder $v\,d\,v =$

$\frac{2\,g\,d\,s.\,p.\,\sqrt{(z^2 - w^2)}}{z}$, und $\frac{p\,w}{z} = \frac{v^2}{2\,g\,r}$, wenn r den Krümmungshalbmesser in diesem Punct bedeutet. Diese Gleichungen reichen hin, um alle Umstände der Bewegung zu bestimmen; denn r läſst sich durch z und w, ds läſst sich durch eben die Gröſsen ausdrücken, und folglich enthalten die Gleichungen nur die drei veränderlichen Gröſsen v, w, z, wenn p gegeben ist, und es läſst sich aus beiden eine Gleichung für die Bahn, zwischen z und w, finden.

Um die Gleichungen bequemer darzustellen, wollen wir bemerken, daſs $\operatorname{Cos} C\,B\,D = -\frac{d\,z}{d\,s} = \frac{\sqrt{(z^2 - w^2)}}{z}$, wo das — Zeichen steht, weil z abnimmt, wenn C B D ein spitzer Winkel ist. Die vorige erste Formel giebt also

$$v\,d\,v = -\,2\,g\,p\,d\,z.$$

woraus $\frac{v^2}{4g} = \frac{c^2}{4g} - \int p\,d\,z$, folgt, wenn c die an einem gewissen Orte statt findende Anfangsgeschwindigkeit bedeutet.

Diese Formel spricht den in Nr. 8. angeführten Satz aus, der also hier vollständig erwiesen ist

Um die andere Formel bequemer darzustellen, müssen wir r durch z und w ausdrücken. Bekanntlich ist $r = \frac{ds}{d\psi}$, wenn $d\psi$ den Krümmungswinkel bedeutet; aber wenn man die beiden Tangenten B D, b d zieht, die den Winkel $= d\psi$ mit einander machen, so ist $D d = - d w. = B D. d\psi$

also $d\psi = \frac{-dw}{\sqrt{(z^2 - w^2)}}$, und da auch $ds = \frac{-z dz}{\sqrt{(z^2 - w^2)}}$) war, $\frac{ds}{d\psi} = r = \frac{z dz}{dw}$ also $v^2 = 2 g p. \frac{w dz}{dw}$, und vermöge der erste Gleichung $v dv = -2 g p dz$, also durch Division $\frac{dv}{v} = \frac{-dw}{w}$, und $v = \frac{C}{w}$, $v. w = C$.

Dies ist der in Nr. 2. ausgesprochne Satz; denn y ist der in 1 Sec. durchlaufene Weg, und folglich v die Basis, w die Höhe des in 1 Sec. durchlaufenen Sectors, dessen doppelter Inhalt also = C, unveränderlich ist.

Setzt man diesen Werth von v, $v = \frac{C}{w}$ in die Gleichung $v^2 = \frac{2 g p w dz}{dw}$, so ist $C^2 = \frac{2 g p. w^3. dz}{dw}$ eine Gleichung, welche die Bahn des bewegten Körpers bestimmt, wenn p eine gegebne Function von z ist.

Anwendung auf die Planetenbahnen.

13. Es sey $z = \frac{\frac{1}{2} P}{1 + \text{Cos.}\, \varphi. \sqrt{\left(1 - \frac{P}{2a}\right)}}$ die Gleichung für einen Kegelschnitt,

also $\text{Cos.}\, \varphi = \frac{\frac{P}{2z} - 1}{\sqrt{\left(1 - \frac{P}{2a}\right)}}$;

$d\varphi. \text{Sin.}\, \varphi = \frac{\frac{1}{2} P dz}{z^2. \sqrt{\left(1 - \frac{P}{2a}\right)}}$.

Nun ist, wenn w noch immer die Senkrechte auf die Tangente bedeutet, bei jeder Curve $\frac{w}{z} = \frac{z\, d\varphi}{ds}$ oder

$$w = \frac{z^2\, d\varphi}{\sqrt{(dz^2 + z^2\, d\varphi^2)}},$$ das ist in unserm Falle

$$w = \frac{\frac{1}{2} P z}{\sqrt{\left(\frac{1}{4} P^2 + z^2 \operatorname{Sin.}^2 \varphi \left(1 - \frac{P}{2a}\right)\right)}},$$ oder weil

$\operatorname{Sin}^2 \varphi . \left(1 - \frac{P}{2a}\right)$ hier $= \frac{P}{z} - \frac{P}{2a} - \frac{P^2}{4z^2}$; so ist

$$\frac{1}{w^2} = \frac{4}{Pz} - = \frac{2}{Pa} \text{ und } \frac{dw}{w^3} = \frac{2dz}{Pz^2}.$$

Für die Centralbewegung sollte aber seyn $p = \frac{C^2\, dw}{2g . w^3 . dz}$.

also muſs hier $p = \frac{C^2}{g P z^2}$, die anziehende Kraft dem Quadrate des Abstands z umgekehrt proportional seyn, wenn der Körper einen Kegelschnitt durchlaufen soll.

14. Nehmen wir umgekehrt an, es solle das Gesetz der Kraft seyn $p = \frac{A^2}{z^2}$ und man verlänge die Curve zu bestimmen, die der Körper dann durchlaufen wird, so würden wir die *letzte* Gleichung in Nr. 12. durch $C^2 = \frac{2g A^2 w^3 dt}{z^2 dw}$ ausgedrückt erhalten. Daraus würde $\frac{C^2}{2w^2} = \frac{2g A^2}{z} + B$ folgen, als Gleichung für die gesuchte Curve. Da wir aber eben nicht gewohnt sind, eine Curve durch den Abstand z und die Senkrechte w auf die Tangente darzustellen, so suchen wir w wegzuschaffen, und dafür jede Curve $\frac{1}{w^2} = \frac{dz^2}{z^4 d\varphi^2} + \frac{1}{z^2}$ ist, (vgl. Nr. 13), so giebt die vorige Gleichung

$$\frac{C^2\, dz^2}{2z^4\, d\varphi^2} + \frac{C^2}{2z^2} = \frac{2gA^2}{z} + B,$$

$$C^2\, dz^2 = (2Bz^4 + 4gA^2 z^3 - C^2 z^2)\, d\varphi^2 \text{ oder}$$

$$d\varphi = \frac{C\, dz}{z\sqrt{(2Bz^2 + 4gA^2 z - C^2)}}$$

Das Integral $\int \frac{dz}{z\sqrt{(\alpha z^2 + \beta z - \gamma)}}$

ist aber $= \text{Const.} - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \text{Arc.Tg.} \frac{2\gamma - \beta z}{2\sqrt{\gamma}.\sqrt{(\alpha z^2 + \beta z - \gamma)}}$

also $\varphi = \text{Const.} - \text{Arc. Tang.} \frac{C^2 - 2 g A^2 z}{C\sqrt{(2 B z^2 + 4 g A^2 z - C^2)}}$

oder wenn ich die Const. $=$ D nenne,

$$\text{Tang.} (D - \varphi) = \frac{C^2 - 2 g A^2 z}{C\sqrt{(2 B z^2 + 4 g A^2 z - C^2)}}$$

$$\text{und Sin} (D - \varphi) = \frac{C^2 - 2 g A^2 z}{z\sqrt{(2 B C^2 + 4 g^2 A^4)}},$$

$$\text{oder } z = \frac{C^2}{2 g A^2 + \sqrt{(2 B C^2 + 4 g^2 A^4)} \text{Sin.} (D - \varphi)}.$$

Dies ist die allgemeine Gleichung für die Curve, welche beschrieben werden kann. Sie ist aber ganz mit der Gleichung für die Kegelschnitte einerley, wenn $\omega = 90^\circ - D + \varphi$ den Winkel bedeutet, den der Radius Vector mit der Haupt-Axe einschliefst, denn alsdann ist

$$z = \frac{C^2}{2g A^2 + \text{Cos.} \omega . \sqrt{(2 B C^2 + 4 g^2 A^4)}}$$

und es ist $\frac{1}{2}$ P $= \frac{C^2}{2g A^2}$ der halbe Parameter des Kegelschnitts

und $\frac{2 B C^2}{4 g^2 A^4}$ ist $= \frac{P}{2 a}$, also die halbe grofse Axe

$a = \frac{g A^2}{B}$, wie die Vergleichung der für alle Kegelschnitte passenden Gleichung Nr. 13. zeigt.

Die grofse Axe ist also negativ oder die Curve ist eine Ellipse, wenn B negativ ist; die Curve ist eine Hyperbel, wenn B positiv ist, und endlich eine Parabel, wenn B $= 0$ ist.

Wenn $\omega = 0$ ist, so befindet sich der bewegte Körper in der kleinsten Entfernung vom anziehenden Körper, weil dann der aus zwei positiven Gliedern bestehende Nenner am gröfsesten ist. Für ein negatives B erhält z seinen gröfsten Werth, wenn $\omega = 180^\circ$ ist, und in der Ellipse ist also da der bewegte Körper in seinen gröfsten Abstande vom anziehenden Körper. Für B $= 0$ wird mit wachsendem ω, z immer gröfser und

z wächst ins Unendliche, wenn ω sich dem Werthe $= 180^\circ$ nähert; der Körper läuft auf dem Aste der Parabel ins Unendliche hinaus. Ist endlich B positiv, so wächst z mit zunehmendem Werthe von ω immerfort, bis

$$\text{Cos.}\,\omega = -\frac{2\,g\,A^2}{\sqrt{(2\,B\,C^2 + 4\,g^2\,A^4)}}$$

ist, oder diesen Werth, wo der Radius Vector mit der Asymptote der Hyperbel parallel wäre, erreicht ω niemals vollkommen, wenn sich auch der Körper auf dem Aste der Hyperbel noch so weit entfernt.

Dies alles gilt, wenn die Kraft $= \frac{A^2}{z^2}$ eine anziehende ist; eine abstoſsende Kraft müſste man durch $-\frac{A^2}{z^2}$ ausdrücken, und also A^2 überall mit — bezeichnen. Für eine abstoſsende Kraft ist also

$$z = \frac{C^2}{-2\,g\,A^2 + \text{Cos.}\,\omega\sqrt{(2\,B\,C^2 + 4\,g^2\,A^4)}}$$

und auch dieses ist eine Gleichung für die Hyperbel, weil, wie sogleich sich zeigen wird, B allemal positiv ist, für diesen Fall. Hier entspricht

$$z = \frac{C^2}{-2\,g\,A^2 + \sqrt{(2\,B\,C^2 + 4\,g^2\,A^4)}}$$

dem andern Endpuncte der Axe oder dem Puncte, wo die gegen den Brennpunct convexe Hälfte der Hyperbel diesem am nächsten ist; auch hier nimmt z zu, wenn ω zunimmt und z wird schon unendlich, wenn

$$\text{Cos.}\,\omega = \frac{2\,g\,A^2}{\sqrt{(2\,B\,C^2 + 4\,g^2\,A^4)}}$$

ist, der Körper geht auf dem Aste des entfernteren Theiles der Hyperbel fort.

15. Um deutlicher zu übersehen, wenn denn B positiv, $= 0$, oder negativ werde, müssen wir die zwei durch Integration eingeführten constanten Gröſsen B, C, näher bestimmen.

Von C habe ich schon bemerkt, daſs es den doppelten in der Zeit Einheit beschriebenen Sector bezeichnet. Heiſst also der kleinste Abstand des bewegten Körpers $=$ h, und ist, wenn er sich da befindet, seine Geschwindigkeit $=$ c, so ist

$C = h\,c$, weil hier die Richtung der Bewegung senkrecht auf den Radius Vector ist.

Die Gröfse A ist durch die absolute Gröfse der anziehenden Kraft p bestimmt; sie ist nämlich gleich dem Abstande von Centro, in welchem $p = 1$ der als Einheit angenommenen Kraft gleich ist. Bezieht sich also g auf die Schwere, oder bezeichnet g den vermöge der Schwerkraft in der ersten Secunde durchlaufenen Fallraum, so ist A die Entfernung, in welcher die Attractionskraft des Punctes C der Schwerkraft gleich ist. Damit ist dann auch B bestimmt. In dem Perihelio ist $z = w = h$ weil der Radius Vector senkrecht auf die Tangente ist, also

$$B = \frac{h^2 c^2}{2\,h^2} - \frac{2\,g\,A^2}{h} = \frac{c^2 h - 4\,g\,A^2}{2\,h}.$$

Und nun erhellt, dafs der Körper in einer Parabel läuft, wenn $\frac{C^2}{4\,g} = \frac{A^2}{h}$; in einer Elilpse, wenn $\frac{C^2}{4\,g} < \frac{A^2}{h}$, in einer Hyperbel, wenn $\frac{C^2}{4\,g} > \frac{A^2}{h}$ ist.

Soll die Gleichung für den Kreis passen, so mufs $\frac{1}{2}\,P = -a$, also $-B\,C^2 = 2\,g^2\,A^4$ seyn (weil die Ellipse hier hervorging, wenn a negativ war); das ist, es mufs $\frac{C^2}{4\,g} = \frac{A^2}{2\,h}$ seyn.

Geschichte dieser Lehren.

16. Galilaei, der zuerst krummlinige Bewegungen nach mathematischen Regeln bestimmte, blieb bei der Betrachtung der geworfenen Körper, auf welche die Schwere wirkt, stehen, und seine Untersuchung gehören also nicht ganz hieher. Huygens machte zuerst die wichtigen Sätze von der Schwungkraft im Kreise bekannt[1] und zwar anfangs ohne Beweis. Die Beweise finden sich in den erst nach seinem Tode herausgekommenen Werken[2], die eine eigne Abhandlung de vi centrifuga enthalten. Er benutzte diese Lehre nicht blofs, um die Untersuchung über

1. Horologium oscillatorium. Paris. 1673.
2. Hugenii opusc. posth. Amstelod. 1728. Tom. II. pag. 105.

das Pendel darauf zu gründen, sondern zeigte auch, daſs wegen der Schwungkraft die Erde abgeplattet seyn müsse, u. s. w. Ganz vollendet stellte Newton die Theorie der Centralbewegung in seinen Principien dar[3]; er bewies dort alle hier mitgetheilten Sätze nach der synthetischen Methode, in welcher das ganze Buch geschrieben ist. Er lehrte die Bestimmung der anziehenden Kraft auch für andere gegebene Bahnen der Körper; untersuchte, welche Folgen es hat, wenn der anziehende Körper selbst eine Bewegung hat; und gründete darauf die Untersuchung über die Bewegungen der Planeten und des Mondes.

Nachdem durch dieses Werk, dessen Ruhm gewiſs mit Recht unsterblich heiſsen kann, der Grund zu einer vollkommneren Kenntniſs der Bewegungen auf krummen Linien gegeben worden, war es minder schwer, theils dieselben Lehren in analytischer Form darzustellen, theils sie mit neuen Lehrsätzen zu bereichern. Dieses ist von Euler, Lagrange, Laplace, Olbers, Gauss u. a. geschehen, und diese Lehren findet man jetzt in allen guten Lehrbüchern der Mechanik. *B.*

Centralfeuer, S. *Erde. Temperatur derselben.*

Centralkraft.

Vis centralis; force centrale; *centralforce.* Eine Kraft, welche den bewegten Körper immer gegen einen bestimmten Punct hin zu ziehen, oder abstoſsend ihn von demselben zu entfernen strebt, heiſst Centralkraft. Die Bewegung, die vermöge der Einwirkung solcher Centralkräfte entsteht, ist in dem Artikel *Centralbewegung* betrachtet werden. Wenn die Kraft gegen den Mittelpunct zu wirkt, so heiſst sie *Centripetalkraft* und nöthiget den Körper, dessen Bewegung nicht gerade gegen den Mittelpunct zu gerichtet ist, eine krumme Linie zu durchlaufen, die hohl gegen den anziehenden Mittelpunct ist. Wenn die Kraft abstoſsend wirkt, so würde sie eine eigentliche Centrifugalkraft seyn, und den Körper nöthigen, eine Curve zu durchlaufen, deren convexe Seite dem abstoſsen-

3. Principia philos. naturalis Lib. I. Sect. 2, 3.

den Mittelpunct zugewandt wäre. Die Sonne besitzt eine Centralkraft, durch welche sie die Planeten und Kometen in ihren Bahnen erhält. da diese Kraft eine anziehende und umgekehrt den Quadraten der Entfernung proportional ist, so müssen die Bahnen der Planeten und Kometen Ellipsen, Parabeln oder Hyperbeln seyn, und was die Hyperbel betrifft, so müſste der Körper sich in derjenigen Hälfte der Hyperbel bewegen, die ihre hohle Seite gegen die Sonne kehrt. Gäbe es Körper, auf welche die Sonne abstoſsend wirkte und gleichfalls so, daſs die Kräfte umgekehrt den Quadraten der Entfernung proportional wären, so müſsten solche Körper in Hyperbeln laufen, und zwar in derjenigen Hälfte der Hyperbel, die ihre Convexität gegen die Sonne kehrt. Die Gründe hierfür sind in Art. *Centralbewegung*. Nr. 14. 15. dargelegt.

Zu den Centralkräften gehört sodann noch die aus der Trägheit des Körpers hervorgehende *Schwungkraft*, die sich als eine vom Krümmungsmittelpuncte abwärts strebende Kraft zeigt. Warum man sie als eine der Centralkraft, von welcher die Bewegung regiert wird, oder vielmehr der aus ihr entspringenden Normalkraft entgegen wirkende Kraft ansehen muſs und wie ihre Gröſse bestimmt wird, ist im Art. *Centrifugalkraft* angegeben.

Aufgabe der Centralkräfte nennt man die Frage, wie aus der gegebnen krummen Linie das Gesetz der wirkenden Centralkraft gefunden werden könne. Ein Beispiel giebt der Art. *Centralbewegung*. Nr 13. und Newton beantwortet mehrere solche Fragen [1]. *Die verkehrte Aufgabe der Centralkräfte* ist dagegen diejenige, wo man die Beschaffenheit der Bahn aus dem Gesetze der Kraft will kennen lernen, wie es im Art. *Centralbewegung*. Nr. 14. 15. geschehen ist. Völlig allgemein hat Ioh. Bernoulli diese zuerst aufgelöst [2]. *B.*

Centrifugalkraft.

Vis centrifuga; force centrifuge; *centrifugal force*; ist eine Kraft, die eine Entfernung von einem bestimmten Mit-

1. Principia. Lib. I. Sect. 2. 3. Propos. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13.
2. Opera Tom. I. p. 470.

telpuncte zu bewirken strebt. Man versteht gewöhnlich die *Schwungkraft* darunter, die nicht als eine ursprüngliche Kraft anzusehen, sondern bloſs eine Folge der Trägheit der Körper ist. Warum man sie gleichwohl eine Kraft nennt, erhellt schon aus dem, was im Art. *Centralbewegung*, Nr. 6 gesagt worden; denn da sie einer Kraft das Gleichgewicht hält, so muſs sie selbst eine Kraft seyn, deren Maſs nach den dort angegebnen Principien richtig bestimmt wird. Ihre Gröſse ist dort in Vergleichung gegen die Schwere, oder diejenige als Einheit angenommene Kraft bestimmt, die 1 Sec. wirkend dem Körper die Geschwindigkeit $= 2\ g$ ertheilt. Sie ist also dort als eine *beschleunigende* Kraft angesehen worden, und die folgenden Betrachtungen werden noch etwas näher zeigen, mit welchem Rechte wir sie so betrachten durften, und in welcher Rücksicht man sie als *bewegende* Kraft ansehen kann.

Wenn man eine Kugel, deren Gewicht ich 1 Pfund setzen will, an einem Faden gehalten, im Kreise schwingt, so wird der Faden durch die Schwungkraft gespannt erhalten und kann allenfalls von ihr zerrissen werden. Könnte man einen Faden wählen, der ganz genau ein Pfund tragen könnte, oder durch ein angehängtes Gewicht, das nur irgend mehr als ein Pfund beträgt, zerrissen würde, so dürfte man, wenn des Fadens Länge $= r$ wäre, die Geschwindigkeit nicht über $c = \sqrt{2\ g\ r}$ vergröſsern, sonst risse der Faden. Sobald nämlich $c^2 = 2\ g\ r$ ist, hat die Schwungkraft eben die Gewalt, wie die Schwere, erlangt, und die Masse, die wir ein Pfund nennen, übt dann einen eben so groſsen Druck, eine eben so groſse bewegende Kraft aus vermöge der Schwungkraft, als vermöge der Schwerkraft. Hätte man an demselben Faden eine Masse, die nur $\frac{1}{4}$ Pfund wöge befestigt, so müſste man die Geschwindigkeit verdoppeln, wenn r denselben Werth behält, um einen viermal so groſsen Werth der Schwungkraft, als beschleunigende Kraft betrachtet, zu erhalten; diese vierfache Kraft bewirkt, daſs $\frac{1}{4}$ Pfund so stark drückt, als ein ganzes der Wirkung der Schwere ausgesetztes Pfund, und dieses Viertelpfund kann bei solcher Geschwindigkeit wieder den Faden zerreiſsen.

Ist zum Beispiel $r = 1$ Fuſs, $2g = 30$ Fuſs, $c = 5\frac{1}{2}$ Fuſs, so ist beinahe $p = \frac{c^2}{2\ gr} = 1$, und das mit $5\frac{1}{2}$ Fuſs Geschwin-

digkeit bewegte ganze Pfund würde den Faden zerreifsen; aber um mit dem herumgeschwungenen Viertelpfunde den Faden zu zerreifsen, müfste man demselben eine Geschwindigkeit von etwa 11 Fufs in der Secunde geben.

Von dieser Schwungkraft hängen viele Erscheinungen ab. Wie sie bei der Bewegung geworfener Körper in Betrachtung kommt, zeigt der Art. *Centralbewegung*. — Die sphäroidische Gestalt der Erde wird durch die Schwungkraft hervorgebracht; indem diese der Schwerkraft entgegen wirkt, daher den Körpern auf der Erde einen Theil ihrer Schwere raubt, und dies am meisten um den Aequator, wo sich deshalb, um den Gegendruck herzustellen, eine gröfsere Wassermenge anhäuft. — Von der Schwungkraft hängen die Wirbel ab, die wir in fliessendem Wasser sehen; — die mit ziemlich bedeutender Geschwindigkeit um einen Mittelpunct laufenden Theilchen streben, sich von diesem Mittelpuncte zu entfernen, und da das umgebende Wasser dies nicht ganz gestattet, so steht das Wasser am Rande des Wirbels höher, in der Mitte tiefer, und hier oft sehr bedeutend tief, wo dann der Platz mit Schaum, d. i. Luft, die nur sehr wenig Wasser zwischen sich hat, ausgefüllt ist.

B.

Centrifugalmaschine,

the whirlingtable, ein Instrument, woran man durch Umdrehung einer horizontalen Scheibe die Wirkungen der Schwungkraft zeigen kann.

1. Die Einrichtung derselben besteht im Wesentlichen darin, dafs eine oder zwei horizontale Scheiben, meistentheils vermittelst einer Schnur ohne Ende durch ein Rad, oder eine Scheibe welche man dreht, in eine schnelle Bewegung gesetzt werden. Hierbei kann man eine ungleiche Geschwindigkeit jener Scheibe, die ich die Schwungscheibe nennen will, durch mehr oder minder schnelles Drehen des Rades bewirken, und überdies hat jeder auf der Schwungscheibe weiter vom Mittelpuncte entfernte Punct eine gröfsere Geschwindigkeit. Weifs man, wie viele Umläufe die Schwungscheibe macht, während sich das mit der Hand gedrehte Rad einmal dreht, so kann

man leicht die wahre Geschwindigkeit jedes Punctes auf der Scheibe bestimmen.

Es giebt mehrere Constructionen dieser Maschine, und die Apparate, deren man sich zur Erläuterung der Erscheinungen der Schwungkraft bedient, sind mehr oder minder zusammen gesetzt und zahlreich, lassen sich aber leicht auffinden und abändern[1]. Aufser den älteren Maschinen findet man am häufigsten die durch FERGUSON[2] beschriebene; eleganter und besser zum Gebrauche aber ist die von DESAGÜLIERS[3] angegebene mit den Verbesserungen, welche NAIRNE hinzugefügt hat. Sie ist aus der Zeichnung leicht zu erkennen, und mit zwei dazu gehörigen Apparaten dargestellt. Fig. 35.

Versuche, die man mit der Centrifugalmaschine anzustellen pflegt.

2. Man schraubt auf die Mitte der Scheibe den Träger, worauf ein dünnes, sehr glattes Metallstäbchen C D angebracht ist. Auf dieses Stäbchen schiebt man Kugeln, die durch den Mittelpunct durchbohrt, und deren zwei vermittelst eines Fadens oder einer metallenen Röhre verbunden sind. Das Stäbchen selbst ist von dem Puncte aus, welcher dem Centrum der Scheibe entspricht, getheilt, so dafs man die Kugeln auf bestimmte Entfernungen vom Mittelpuncte stellen kann. Fig. 36.

3. Wählt man nun zuerst zwei gleiche Kugeln und stellt sie in ungleiche Entfernungen vom Mittelpuncte, und an entgegengesetzte Seiten desselben, so schiebt sich die entferntere, sobald die Drehung nur stark genug ist, damit die Schwungkraft die Reibung überwinden könne, so weit als möglich vom Mittelpuncte weg, und zieht die andere Kugel, wenn sie jenseits des Mittelpunctes steht, mit sich. — Die Schwungkraft der entfernteren Kugel ist also gröfser die der nähern, wenn ihre Massen gleich sind. Dies folgt aus der Formel[4] $p = \frac{2\pi^2 r}{g T^2}$, weil die

---

1 Vergl. HUTTON Dict. II. 602.

2 Lectures on Mechanics lect. 2.

3 Cours de Phys. I. 330.

4 S. *Centralbewegung* Nr. 7.

Umlaufszeit hier für beide gleich ist. Wären beide Kugeln an derselben Seite des Mittelpunctes, so würden beide ein gleiches Bestreben haben, sich nach eben der Seite hin so weit als möglich zu entfernen und müſsten also bei jeder Bewegung ruhen.

4. Wählt man zwei ungleiche Kugeln, deren Gewichte sich wie m zu n verhalten, und stellt sie einander so gegenüber an verschiedenen Seiten des Mittelpunctes, daſs sich die Entfernungen umgekehrt wie die Gewichte verhalten, so bleiben sie bei der Drehung unverändert in ihrer Stellung. Die bewegenden Kräfte sind nämlich, wenn der Abstand der ersten $= n\,a$, der zweite $= m\,a$ ist, gleich für diese Massen, weil die beschleunigende Kraft $= \frac{2\pi^2\, n\, a}{g\, T^2}$ auf die Masse m wirkend, eben den Druck hervorbringt, wie die beschleunigende Kraft $= \frac{2\pi^2\, m\, a}{g\, T^2}$, wenn sie auf die Masse n wirkt. Dieser Versuch läſst sich nicht gut ausführen, weil es schwer ist, das Maſs der Entfernungen so strenge, als es erforderlich wäre, zu nehmen, zumal da eine auch nur geringe Dehnung des Fadens das Verhältniſs der Entfernungen leicht ein wenig ändert. Man kann statt dessen lieber es so einrichten, das die Entfernung der Kugel, deren Masse m ist, etwas weniges zu groſs sey; dann entfernt sie sich vom Mittelpuncte und zieht die andre mit fort; und wenn man dagegen in einem zweiten Versuche die Entfernung der andern Kugel mit Fleiſs ein wenig zu groſs nimmt, so zieht diese jene mit fort, so daſs leicht erhellt, das Gleichgewicht werde eintreten, wenn man die Entfernungen ganz genau jener Regel gemäſs genommen hätte.

5. In der geneigten Röhre a D befinden sich Wasser und Quecksilber. So lange die Schwungscheibe ruht, ist das Quecksilber unten, das Wasser oben; aber sobald die Scheibe in schnelle Bewegung gesetzt wird, drängt sich das Quecksilber nach oben. Dies erklärt sich leicht aus den Gesetzen der Schwungkraft; denn wenn man die an das Wasser grenzende Quecksilberschicht und die benachbarte Wasserschicht, die ich beide als von gleichem Volumen ansehen will, betrachtet, so wirkt auf beide sehr nahe dieselbe beschleunigende Kraft, aber das vierzehnmal so dichte Quecksilber übt, wegen seiner

14 mal so grofsen Masse, bei gleich einwirkender Beschleunigung einen 14 mal so grofsen Druck aus, und treibt das Wasser aus der Stelle. Da dies überall, wo Wasser und Quecksilber in der geschwungenen Röhre an einander grenzen, ebenso der Fall ist, so drängt sich alles Quecksilber nach dem entferntesten Theile der Röhre hin, und thut dies selbst dann, wenn wegen der Neigung der Röhren gegen den Horizont die Schwere überwunden werden mufs.

Auch auf folgende Weise läfst sich diese Wirkung der Schwungkraft anschaulich machen. Man nimmt eine Glaskugel C, etwa 3 Z. im Durchmesser haltend, mit einem Stiele a a fafst diesen in Messing, und schraubt ihn vermittelst dieser Fassung so auf die Schwungscheibe, dafs die lothrechte Linie durch das Centrum der Kugel und die Axe des Stiels geht, füllt die Kugel bis zur Hälfte mit denjenigen Flüssigkeiten, welche das Elementenglas enthält,[1] so dafs diese in Ruhe die Schichten $\alpha\alpha$, $\beta\beta$, $\gamma\gamma$, $\delta\delta$ bilden, und verstopft die obere Oeffnung, oder verschliefst sie hermetisch. Giebt man hernach dem Apparate eine schnelle drehende Bewegung um seine Axe vermittelst der Schwungmaschine, so legen sich die verschieden specifisch schweren Flüssigkeiten in concentrische Lagen, das schwerste Quecksilber nach aufsen, und die leichteste Luft nimmt den innersten Raum ein. Fig. 37.

6. Man kann bei dieser Schwungmaschine eine Einrichtung anbringen, um die Gröfse der Schwungkraft geradezu abzumessen. Zu diesem Zwecke wird in der Mitte des bisher betrachteten Trägers eine aufrechtstehende Säule errichtet, woran sich oben eine Rolle befindet. Eine auf dem Stäbchen C D bewegliche Kugel oder eine sonstige Masse von bekanntem Gewichte ist an einem Faden befestiget, der über die Rolle gehend am andern Ende ein Gewicht trägt. Stellt man die Kugel so weit es der Faden erlaubt, vom Mittelpuncte entfernt, während das Gewicht noch unten aufliegt, und setzt die Scheibe in eine hinreichend schnelle Bewegung, so entfernt sich die Kugel noch weiter vom Mittelpuncte und hebt das Gewicht. Will man die Schwungkraft nicht, wie es bei der eben beschriebenen Ein- Fig. 35.

1 S. *Elementenglas.*

richtung der Fall wäre, einen Zug in schiefer Richtung ausüben lassen, so bringt man bei A eine Rolle und senkrecht über A in der Höhe die zweite Rolle B an, damit der Faden von E nach A horizontal und dann senkrecht hinauf läuft und über die obere Rolle fortgeht. Die Sperrung auf der gezahnten Stange dient zum bequemen Feststellen der Kugel. Wenn die Maschine so eingerichtet ist, daſs man die Schnelligkeit der Umdrehungen ziemlich genau bestimmen kann, so lieſse sich hieran ein förmliches Experiment zur Abmessung der Schwungkraft knüpfen. Das Gewicht der Kugel sey $= \frac{1}{2}$ Pfund, das zu hebende Gewicht $= 1$ Pfund, und die Kugel stehe 1 Fuſs vom Mittelpuncte, so müſste die Geschwindigkeit fast $= 8$ Fuſs in der Secunde seyn, damit $\frac{c^2}{2gr} = \frac{64}{30.1}$ reichlich $= 2$ würde, um das doppelt so schwere Gewicht zu heben, und auch noch die Reibung zu überwinden. Das Experiment würde genau die hier nur ungefähr berechnete Geschwindigkeit angeben.

7. Wenn man an einer senkrechten glatten Axe vier bis sechs sehr dünne, elastische, kreisförmige Reifen unten befestiget, oben aber die Axe A B frei durch sie hindurchgehen läſst und ihnen hierdurch erlaubt, eine elliptische Gestalt, mit verkürztem Verticaldurchmesser anzunehmen, so wird, sobald man sie vermittelst der Axe auf die Schwungscheibe schraubt, und mit ihr die elastischen kreisförmigen Reifen in Drehung setzt, die Schwungkraft den von der Axe entfernten Theilen ein Bestreben geben, sich mehr von der Axe zu entfernen, und dadurch werden die Reifen abgeplattet, ellipdisch, so daſs die verticale Axe die kürzere ist. Bei schneller Drehung hat es dann den Anschein, als ob man einen sphäroitischen Körper vor sich hätte. Dieses Experiment pflegt man als die Ursache der sphäroidischen Gestalt der Erde erläuternd anzuführen; und obgleich es hier die Elasticität der kreisförmigen Reifen, bei der Erde die Schwere ist, welche ursprünglich die Kreisform im einen, die Kugelform im andern zu erhalten strebt, so ist es wenigstens doch in beiden die Schwungkraft, welche die Aenderung bewirkt[1].

Fig. 81.

8. LANGSDORFS Schwungmaschine gehört endlich auch noch

---

1 Mehr Experimente lehrt FERGUSON, lectures on several Subjects. pag. 18.

hieher[1]. Eine verticale Röhre A B, die sich oben in zwei horisontale ein wenig gebogene Arme B C, B D endiget, ist bei A in die Wasserfläche E F eingetaucht. Bei G ist sie mit einem Trilling umgeben, der vermittelst des Rades H in schnelle Drehungsbewegung gesetzt werden kann. Um die Maschine in Thätigkeit zu setzen, wird die ganze Röhre, die bei A mit einem sich oberwärts öffnenden Ventil versehen ist, von oben mit Wasser gefüllt, und dann das Rad H gedrehet und so auch die Röhre C B A D in schnelle Schwungbewegung gesetzt. Dieser Schwung ertheilt den bei C und D liegenden Wassertheilchen ein Bestreben, sich vom Mittelpuncte B zu entfernen, und das Wasser fliefst daher dort aus; weil aber der Druck der Atmosphäre auf E F nicht gestattet, dafs irgendwo in der Röhre ein leerer Raum entstehe, und das gesammte Wasser in B C sich nach C, das gesammte Wasser in B D sich nach D drängt, so tritt immer neues Wasser bei A in die Röhre, so dafs vermöge dieses Saugens bei A und des Schwunges in C D, fortwährend Wasser gehoben und bei C, D, ausgegossen wird. — — Man kann also mit dieser Maschine, wie mit einer Saugepumpe das Wasser heben und aus dem Raume unter E F fortschaffen. Langsdorf nennt sie daher *Saug-Schwungmaschine*. *B.*

Fig. 39.

Centrifugalpendel.

Pendulum centrifugum. Das Centrifugalpendel, welches Pfaffius zuerst wirklich ausgeführt zu haben scheint[2], besteht aus einer Kugel, die an einer Stange befestiget, statt der gewöhnlichen Pendelschwingungen eine Kreisbewegung macht. Stellt man sich nämlich die Pendelstange in einiger Entfernung von ihrem oberen Puncte so frei aufgehängt vor, dafs sie sich nach allen Richtungen bewegen kann, so wird sie, wenn man der seitwärts gehobenen Kugel eine Geschwindigkeit ertheilt, deren Richtung nicht in der durch die Pendelstange gelegten Verticalebene ist, eine Kreisbewegung annehmen, und die ganze Stange wird eine Kegelfläche beschreiben.

---

1 Langsdorfs Lehrbuch der Hydraulik. S. 852.

2 G. XVI. 494.

Die Gesetze dieser Bewegung kannte schon Huygens[1]. Pfaffius hat dieses Pendel angewandt, um eine Uhr zu treiben. Das obere, jenseit des Aufhängepunctes liegende Ende der Stange greift nämlich in einen Einschnitt einer Kurbel ein, und diese dreht, indem sie mit dem kreisenden Pendel fortgeführt wird, ein Getriebe, durch welches das Uhrwerk in Bewegung gesetzt wird. — Er hat es späterhin auch zu Tertien-Uhren angewandt.

Um die kreisförmige Bewegung zu erhalten, hat Pfaffius es so eingerichtet, daſs das Lager, worauf die Schneide, die dem Pendel zum Ruhepuncte dient, aufliegt, wieder auf einer Schneide schwingt, und beide Schneiden einen rechten Winkel mit einander machen. *B.*

Centripetalkraft.

Vis centripeta; force centripète; *centripetalforce.* Die Kraft, die einen bewegten Körper gegen den Mittelpunct der Kräfte hin anzieht. Wenn ihre Richtung mit der Richtung der Bewegung des Körpers übereinstimmt, so hat dieser bloſs eine geradlinige Bewegung, und zwar eine beschleunigte Bewegung, wenn er auf den Mittelpunct zu gehet, eine verzögerte Bewegung, wenn er sich geradezu vom Mittelpuncte der anziehenden Kräfte entfernt. Ist die Richtung der Bewegung genau senkrecht gegen die Richtung der Kraft, so bringt die Kraft weder eine Beschleunigung noch eine Verzögerung der Bewegung hervor, sondern bewirkt bloſs eine Krümmung der Bahn. Ist die Richtung der Kraft unter einem schiefen Winkel gegen die Richtung der Bewegung geneigt, so zerlegt man am besten die Kraft in eine Normalkraft, senkrecht auf die Richtung der Bewegung, und in eine Tangentialkraft, übereinstimmend mit der Richtung der Bewegung: jene wirkt bloſs auf die Krümmung der Bahn, diese beschleunigt die Bewegung, wenn sie mit der Richtung der Bewegung zusammenfällt, oder verzögert sie, wenn sie der Richtung der Bewegung entgegen gesetzt ist[2]. *B.*

---

1 Hugenii opera posthuma. Tom. II. p. 126. Auch gehören Bernoulli's Untersuchungen über die pendula turbinantia hieher. Opera Iohannis Bernoulli Tom. II. Nr. 97.

2 Vergl. *Centralbewegung.*

Ceres.

Name eines Planeten, der seine Bahn zwischen Mars und Jupiter hat. Das Zeichen dieses Planeten ist ⚳.

Geschichte der Entdeckung.

Seit der Entdeckung des Uranus war von mehreren Astronomen der Gedanke geäufsert worden, dafs es nicht unmöglich scheine, noch andre Planeten zu entdecken. Die schon früher von Lambert obenhin angedeutete und von Bode bestimmter ausgeführte Bemerkung, dafs der Zwischenraum zwischen dem Mars und Jupiter zu grofs erscheine, und dafs das bei den übrigen Planeten nahe richtige Gesetz, dafs die Entfernung von der Sonne

für den Mercurius = 4;
Venus = 4 + 3;
Erde = 4 + 2 . 3;
Mars = 4 + 4 . 3;
x = 4 + 8 . 3;
Jupiter = 4 + 16 . 3;
Saturn = 4 + 32 . 3

sey, hier eine Lücke zeige, leitete die Vermuthung darauf, es möge hier noch ein unentdeckter Planet seine Bahn haben, um so mehr, als man auch die Entfernung des Uranus dem Gesetze gemäfs fand. Das Bemühen einiger Astronomen, durch genaue und öftere Bestimmung der Lage selbst der kleineren Sterne, die der Ekliptik ziemlich nahe stehen, einen unter ihnen wandelnden Planeten durch seine Ortsveränderung zu erkennen, war indefs noch nicht vollkommen genug durchgeführt worden, um Erfolg zu gewähren, als im April 1801 bekannt wurde, Piazzi habe einen Kometen ohne Nebel entdeckt, der seine rückläufige Bewegung mit einer rechtläufigen vertauscht habe, als er ungefähr 56 Grade von der Opposition entfernt war. Da nun der Mars etwa in 44 Grad Abstand von der Opposition, Jupiter in 64 Grad Abstand von der Opposition stillstehend wird, so konnte dies auf jenen vermutheten Planeten passen, und die deutschen Astronomen Bode und von Zach hatten sich einander diesen Gedanken mitgetheilt, als man erfuhr, auch Pi-

azzi selbst und Oriani wären geneigt, diesen Himmelskörper für einen Planeten zwischen Mars und Jupiter anzusehen. [1]

Piazzi hatte diesen Stern am 1. Januar 1801 entdeckt, sogleich am nächsten Abend seine Bewegung wahrgenommen und ihn nun fortwährend bis zum 11. Febr. beobachtet; [2] war aber dann durch eine Krankheit an ferneren Beobachtungen gehindert. Der Bogen, den der Planet unterdeſs durchlaufen hatte, schien zu klein, um eine genaue Bahn zu berechnen; mehrere Astronomen berechneten indeſs auſser der Kreisbahn, die den Beobachtungen ziemlich nahe Genüge that, auch noch Parabeln. Burkhardt berechnete eine Ellipse, die indeſs für nicht sehr sicher gehalten werden konnte, da man eine Ellipse nur mit Hülfe irgend einer willkürlichen Hypothese, daſs der Planet der Sonnennähe oder der Sonnenferne nahe gewesen sey u. dgl. glaubte erhalten zu können und die so bestimmte Ellipse fehlerhafter ausfallen könnte, als die Kreisbahn. Höchst wichtig war es daher, daſs Gauss eine Methode entdeckte, um die elliptische Bahn ohne alle Hypothese über die Stellung des Planeten in der Bahn zur Zeit der Beobachtung zu bestimmen. Piazzi's nun vollständig bekannt gewordene Beobachtungen schienen Gauss so genau, daſs sie eine sorgfältige Berechnung nach dieser neuen Methode der Bahnbestimmung verdienten, und er machte die hiernach bestimmte Ellipse bekannt. Diese führte zu einer neuen Vorausberechnung des Ortes, wo man den Planeten bei seiner Wiedererscheinung zu Ende des Jahres suchen müsse, und diese Vorausberechnung gab den Ort um 6 bis 7 Grade von demjenigen verschieden an, den man bisher nach der Kreisbahn und der Burkhardtschen Ellipse vermuthet hatte. Uebrigens stimmte diese Gaussische Ellipse mit den Beobachtungen Piazzi's ganz vollkommen überein, was bei allen frühern Bahnbestimmungen nicht in gleichem Grade der Fall war. [3]

Die Astronomen richteten nun ihre Beobachtungen auf den Ort am Himmel, wo der Planet nach Gauss stehen sollte, und nun glückte es zwar von Zach zuerst, ihn wieder zu se-

---

1 v. Zachs mon. Corr. III. 602. 605. 607.
2 Mon. Corr. IV. 559.
3 Mon. Corr. IV. 639.

hen, OLBERS aber entdeckte ihn mit völliger Bestimmtheit, ehe von ZACH so glücklich war, seine Beobachtung völlig zu bestätigen. Von ZACH nämlich hatte in der Nacht vom 7. zum 8. Dec. zwei unbekannte Sterne beobachtet und aufgezeichnet, deren einer der scheinbaren Bahn des Planeten sehr nahe stand,[1] nach anhaltend trübem Wetter war es erst in der Nacht vom 31. Dec. zum 1. Jan. möglich zu entscheiden, dafs dieser Stern an seinem damaligen Orte nicht mehr stand, also der Planet gewesen sey.[2] In eben dieser Nacht beobachtete von ZACH wieder mehrere Sterne in der Gegend, wo jetzt der Planet stehen sollte, und am 11. Jan. fand sich einer derselben wieder nicht mehr an seiner Stelle; von ZACH hatte also den Planeten gesehen. Aber unterdefs hatte am 1. Januar 1802 OLBERS die in der Gegend des Planeten stehenden Sterne beobachtet und in ein Chärtchen eingetragen, am 2. Jan. sah er, dafs einer derselben seinen Ort verändert hatte, und erkannte so den Planeten in zwei verschiedenen Stellungen, als allein fortgerückt unter den umgebenden Fixsternen; am 6. Jan. früh fand er den Planeten genau so fortgerückt, wie es die Theorie forderte.[3] Und so war denn durch PIAZZI's höchst genaue Beobachtungen und GAUSS's treffliche Berechnungsmethode die Wiederauffindung eines Planeten möglich geworden, der während der Piazzischen Beobachtungen heliocentrisch nur $9\frac{1}{4}$ Gr. durchlaufen hatte; der Planet war nun unverlierbar den Astronomen bekannt.

PIAZZI selbst hatte den Wunsch geäufsert, dafs man den Planeten CERES FERDINANDEA (dem König FERDINAND von Neapel und Sicilien zu Ehren) nennen möchte; aber nur der Name Ceres hat sich bei den Astronomen erhalten.

Elemente der Bahn.

Es wäre jetzt unnütz, die früheren Bemühungen für die Bestimmung dieser Elemente anzuführen. Selbst die ersten Angaben von GAUSS, so sehr genügend zur Auffindung des

---

1 M. C. V. 90.
2 M. C. V. 172.
3 M. C. V. 174.

Planeten sie waren, bedurften doch noch sehr der Verbesserung; und selbst als mehrjährige Beobachtungen genauere Bestimmungen gegeben hatten, war es, wegen der starken Störungen welche die Ceres leidet, doch nur möglich, die von diesen Störungen noch afficirte Bahn eine den beobachteten Orten möglichst angeschlossene Ellipse anzugeben. Jetzt, nachdem die wichtigsten Störungen in die Rechnung eingeführt sind, und eine sehr bedeutende Reihe von Beobachtungen nun schon mehrere Umläufe umfaſst, sind die folgenden Elemente als der wahren elliptischen Bahn, wenigstens weit mehr genähert anzusehen.[1]

Halbe groſse Axe	= 2, 767245.
Excentricität im J. 1806	= 0, 0785028.
Jährliche Abnahme ders.	= 0, 00000583.
Umlaufszeit	= 1681, 4 Tage.
Mittlere tägliche trop. Bewegung	= 770,″ 923.
Neigung der Bahn. 1806	= 10° 37′ 31,″2.
Jährliche Abnahme ders.	= 0,″ 44.
Länge des aufsteigenden Knotens im J. 1806.	= 80° 53′ 41″,3.
Jährliche Bewegung des Knotens	= + 1″, 48
Länge des Perihelii im Jahre 1809	= 146° 36′ 6,″6.
Jährliche Bewegung desselben	= 2′ 1,″3.
Mittlere Länge am 1. Jan. 1809 Mittag in Göttingen	= 343° 2″, 38.
Gröſste Mittelpunctsgleichung	= 9° 0′ 7″, 68.

Grösse der Ceres und Beobachtungen über ihre natürliche Beschaffenheit.

Die *Ceres* ist sehr klein, aber die Angaben für ihre Gröſse weichen sehr von einander ab. Sie erschien bei ihrer Entdeckung als ein Stern neunter Gröſse; ihre Farbe ist etwas röthlich; mit starken Fernröhren beobachtet erscheint sie mit Nebel umgeben, und daher ihre Scheibe nicht gut begrenzt.

Die Messung ihrer Gröſse stellte Schröter auf die so häufig von ihm angewandte Weise an, daſs nämlich ein mit bloſsem Auge gesehenes Scheibchen in diejenige Entfernung gestellt ward, wo es eben so groſs erschien als die unter bestimmter Vergrö-

1 Ich entlehne sie aus Schubert traité d' astronomie théorique. Petersb. 1822. Tome II. p. 281. und v. Lindenau's Zeitschrift für Astronomie. I. 15.

ſserung mit dem andern Auge beobachtetete Ceres im Fernrohr. Nur selten gelang es, das aus dem umgebenden Nebel deutlich als fester Körper hervorblickende Scheibchen zu messen, und Schröter leitet aus diesen Messungen den auf den Abstand der Erde von der Sonne reducirten scheinbaren Durchmesser = 3,48 Secunden, den wahren Durchmesser = 352 geogr. Meilen her. In den meisten Fällen war es nicht möglich, diesen eigentlichen Kern oder anscheinend festen Körper zu unterscheiden, sondern es wurde nur die nebliche Umhüllung gemessen, die sonderbar ungleich und zuweilen so groſs erschien, daſs ihr Durchmesser 650 Meilen betragen muſste.[1]

Sehr hievon abweichend sind Herschels Bestimmungen, der den Durchmesser nur 0, 351 Sec. oder den wahren Durchmesser 35 geogr. Meilen angiebt; die umgebende Atmosphäre möge, glaubt er, eine viermal oder fünfmal so groſsen Durchmesser haben.[2] Auch Herschel hatte sich zur Abmessung einer kleinen erleuchteten Scheibe bedient, die er mit bloſsem Auge betrachtete und mit dem im Fernrohre gesehenen Bilde des Planeten verglich; aber Schröter glaubt, Herschel habe die Scheibe weiter als es bei solchen Messungen zulässig sey, vom Auge entfernt, und das alsdann undeutlich werdende Bild einer sehr erhellten weiſsen Scheibe erscheine dem Auge gröſser, als sie nach der Berechnung des Sehewinkels erscheinen sollte. Dagegen hat Herschel durch spätere Versuche und Beobachtungen seine Bestimmungen zu rechtfertigen gesucht.[3] Er stellte kleine Metallkugeln, Silberdrahttropfen, Siegellackkügelchen u. s. w. in hinreichend gröſsere Entfernungen auf und betrachtete sie durch eben die Fernröhre, mit welchen er die Ceres beobachtete. Er fand hier, daſs er zum Beispiel Silberkügelchen von $\frac{1}{200}$ Zoll Durchmesser, so entfernt aufgestellt, daſs sie dem bloſsen Auge $\frac{1}{2}$ Sec. groſs erscheinen muſsten, mit 523maliger Vergröſserung noch so deutlich erkannte, daſs er ihre Viertel wahrnehmen konnte;

---

1 Schröters Lilienthalische Beob. d. Planeten Ceres, Pallas, Juno. (Göttingen 1805.)

2 Phil. Transact for 1802. p. 213.

3 Phil. Trans. for. 1804. Herschels experiments for ascertaining how far telescopes will enable us, to determine very small angles and to distinguish the spurious from the real Diameter etc.

und daran knüpft er den Schluſs, ein Planet, der bei 500 maliger Vergröſserung, ja selbst bei 800 maliger Vergröſserung noch nicht deutlich als Scheibe erscheine, könne noch nicht eine halbe Secunde im Durchmesser haben. Er macht daher die Bemerkung, daſs man bei geringern Vergröſserungen zuweilen schon den Planeten als Scheibe zu sehen glaube, aber da bei stärkern Vergröſserungen die Scheibe nicht im gehörigen Maſse immer deutlicher sichtbar werde, so dürfe man diesem durch Irradiation bewirktem Scheine nicht trauen. Dagegen führt Schröter Beobachtungen an, wo ihm die Scheibe der Ceres gröſser, wenn gleich nicht so gut begrenzt, als Uranus und der erste Jupitersond erschien, wonach denn jene ungefähr die von ihm angegebne Gröſse haben müsse.

Ungeachtet dieses Streites über die scheinbare Gröſse ist es gewiſs, daſs die Ceres viel dunkler als Uranus erscheint; was zum Theil daher rührt, daſs ihr Licht matter und neblich ist. Nach Schröters Messungen scheint der Durchmesser ihrer glänzenden Atmosphäre wirklichen Aenderungen unterworfen zu seyn, so daſs der Durchmesser dieser unbestimmten Nebelhülle zuweilen gröſser, zuweilen kleiner, als es nach der Entfernung seyn sollte, erscheint; der Planetenkern scheint zuweilen deutlicher, zuweilen minder deutlich durch diese Umhüllung hervorzublicken, u. s. w.

In Rücksicht auf die natürliche Beschaffenheit dieses Planeten verdient auch noch Olbers Meinung, daſs vielleicht die vier Planeten Ceres, Pallas, Juno, Vesta Trümmer eines einzigen groſsen Planeten sind, angeführt zu werden. Die Umlaufszeiten der Ceres und Pallas sind beinahe ganz gleich,[1] und ihre Bahnen kommen im Knoten einander so nahe, daſs man wohl annehmen darf, die Bahnen mögen ehemals einen gemeinschaftlichen Durchschnittspunct gehabt haben, oder von dem Puncte, wo sie aus der Zertrümmerung der gröſsern Planeten entstanden, ausgegangen seyn. Da Olbers's hierauf gegründete Vermuthung, daſs man wohl auſser der Ceres und Pallas noch

---

1 Wegen dieser Gleichheit der Umlaufszeit entfernen sie sich von der Sonne aus gesehen, nie weit von einander; und ihre gegenseitige Stellung giebt Bode für den ganzen Umlauf an. Astr. Jahrbuch 1807. S. 216.

mehrere Stücke jenes Planeten in Bahnen, die nicht sehr weit von den Bahnen jener entfernt wären, finden werde, sich durch die Entdeckung der Juno und Vesta als richtig gezeigt hat, so darf man dieses wohl als einigermaſsen die Vermuthung über den Ursprung dieser Planeten bestätigend ansehen.

B.

Cerium.

Cererium, Cerer; Cerium; *Cerium.* Dieses Metall findet ſich in einigen seltnen, besonders schwedischen Fossilien, wie im *Cerit, Allanit, Ytterocerit* u. s. w. Man kennt dasselbe noch nicht im reinen, sondern nur im eisenhaltigen Zustande. Es scheint in heftiger Hitze flüchtig zu seyn. Es bildet mit dem Sauerstoff ein Oxydul und ein Oxyd. Das *Ceriumoxydul* (46 Cerium auf 8 Sauerstoff) ist weiſs, und bildet mit den Säuren farblose oder blaſsrothe, süſs und herb schmeckende Salze, welche durch reine kohlensaure, phosphorsaure, arseniksaure, kleesaure, weinsaure, bernsteinsaure und benzoesaure Alkalien weiſs gefället werden. Der Niederschlag, welchen kholensaures Kali hervorbringt, löst sich im Ueberschuſs desselben wieder auf. Mit Kali und Schwefelsäure bildet das Ceriumoxydul ein schwer lösliches Doppelsalz. Das *Ceriumoxyd* (46 Cerium auf 12 Sauerstoff) bildet sich beim Glühen des Oxyduls an der Luft, ist zimmtbraun, und wenig, mit röthlichgelber Farbe, in Säuren löslich. *G.*

Chamaeleon.

Mineralisches Chamäleon; *Chamäleon mineralis;* Chaméleon minéral; *Mineral Chameleon;* von seinem Farbenwechsel nach der Aehnlichkeit mit dem Thiere gleiches Namens so genannt, ist eine Verbindung der Mangansäure mit Kali. Man erhält dasselbe durch Glühen von 1 Theil fein gepulverten Braunstein mit 3 Th. Salpeter oder 2 Th. Kalihydrat in einem Tiegel, bis eine Probe in Wasser mit grüner Farbe löslich ist. Die schwarzgrüne Masse läſst sich in gut verschlossenen Gefäſsen aufbewahren, und giebt in Wasser gelöset eine grün gefärbte Flüssigkeit, welche mehr oder minder schnell durch Blau, Violett und Purpur in Roth übergeht, indem dem ursprünglich basischen man-

gansauren Kali, welches grün ist, durch Wasser und Kohlensäure der Ueberschuſs des Kali entzogen und somit das neutrale rothe Salz gebildet wird. Man kann daher durch Zusatz von kaustischem Kali die grüne, durch eine Säure aber die rothe Farbe herstellen, und durch mehr oder minderen Zusatz des einen oder andern die verschiedenen Farben hervorbringen. Kommt die rothe Flüssigkeit mit einem organischen Körper, wie etwa Staub und Korkstöpsel, in Berührung, so entfärbt sie sich völlig, indem die Mangansäure einen Theil ihres Sauerstoffs an dieselbe abtritt, und als braunes Oxyd niederfällt. *G.*

Chemie.

Chymie, Mischkunde, Scheidekunst; *Chemia*, *Chymia*; Chimie, Chymie; *Chimistry*, *Chymistry*. [1] Dieser Theil der Naturwissenschaft beschäftigt sich mit allen den Veränderungen der Materien, welche als eine Wirkung der chemischen Verwandtschaft zu betrachten sind (s. *Verwandtschaft*). Diese Veränderungen bestehen in der Verbindung ungleichartiger Materien zu gleichartigen Ganzen, womit häufig zugleich die Zertrennung gleichartiger Ganzen in ungleichartige Theile verbunden ist. Man unterscheidet eine *reine*, *theoretische* oder *philosophische* und eine *angewandte Chemie*. Erstere ist die Lehre von den chemischen Verhältnissen der Materien, an und für sich; unter letzterer versteht man Bruchstücke derselben Lehre, bloſs in der Beziehung betrachtet, als sie andern Zwecken auſserhalb der Wissenschaft dienen. Solche Zwecke sind: 1. Erklärung der in andern Theilen der Naturwissenschaft vorkommenden chemischen Verhältnisse, woraus die *physische*, *mineralogische*, *physiologische* und *ökonomische Chemie* entspringt. 2. Anweisung zur Bereitung von Arzneimitteln (*pharmaceutische Chemie*) und von andern Gegenständen des gemei-

---

1 *Χημία* oder *Χημεία*, von *Χυμὸς*, Saft; oder von *Χέω*, *Χεύω*, ich schmelze, oder von *Χήμη*, eine Art Muschel; oder von Cham dem Sohne Noahs, der die Naturkenntniſs nach Aegypten gebracht haben soll und von *Χημία*, worunter in der Priestersprache Aegypten selbst verstanden wurde?

nen Lebens, (*technische Chemie*), sofern diese Bereitung auf chemischen Grundsätzen beruht. — Aufserdem versteht man unter *praktischer Chemie* die Anweisung, nach welchen Regeln und mittelst welcher mechanischen Mittel die chemischen Veränderungen der Körper im Kleinen zu bewerkstelligen sind, und hiervon macht die *analytische Chemie*, welche die Trennung zusammengesetzter Körper in ihre Bestandtheile beabsichtigt, einen wichtigen Theil aus. *G.*

Chlor.

Chlorine, dephlogistisirte Salzsäure, oxygenirte Salzsäure; *Chlorum, acidum salis dephlogisticatum, acidum muriaticum oxygenatum;* Chlore, acide muritique oxigéné; *chlorine, oxy-muriatic acid.* (Von χλωρὸς, grünlich gelb). Eine Substanz, welche von ihrem Entdecker, Scheele, für Salzsäure angesehen wurde, der Phlogiston entzogen sey, dann von Berthollet für eine Verbindung der Salzsäure mit Sauerstoff; dann von Gay-Lussac und Thenard und von Davy als eine einfache Substanz betrachtet wurde, welche letztere Ansicht, als die einfachere, jetzt fast allgemein angenommen ist. Man erhält das *Chlor* beim Erhitzen von Braunstein mit Salzsäure, oder mit Kochsalz und Schwefelsäure, als ein blafsgelbes Gas, dessen spec. Gewicht sich zu dem der Luft ungefähr verhält, wie 2,440 : 1,000. Dasselbe unterhält das Verbrennen einer Wachskerze mit duncklem Lichte und Erzeugung von viel Rufs, riecht höchst erstickend, wirkt sehr nachtheilig auf die Athmungswerkzeuge, zerstört viele organische Farbestoffe, so wie auch die Ansteckungstoffe[1]. Durch einen mehr als 4 Atmosphären betragenden Druck geht das Chlorgas bei 15° C. in eine grünlichgelbe Flüssigkeit von 1,33 spec. Gewicht über, welche eine etwas geringere lichtbrechende Kraft hat, als das Wasser, nicht bei — 36° C. gefriert, und sich bei Aufhebung des äufsern Drucks plötzlich, unter bedeutender Erkältung, wieder in Gas verwandelt.

Das *Chlor* bildet mit wenig Wasser bei einigen Graden über 0° C. ein gelbes krystallinisch blättriges Hydrat, welches bei mäfsiger Wärme viel Chlorgas entwickelt, wobei eine flüs-

---

1 Vergl. *Atmosphäre*, I, 478.

sige, blaſsgelbe Verbindung von viel Wasser mit wenig Chlor, das wässrige Chlor, übrig bleibt.

Das Chlor geht mit dem *Sauerstoff* 4 Verbindungen ein:

Das *Chloroxydul* oder die *Euchlorine* (36 Chlor auf 8 Sauerstoff) und das *Chloroxyd* (36 Chlor auf 24 Sauerstoff,) zwei Gase, dunklergelb als das Chlorgas, welche bei geringer Temperaturerhöhung unter lebhafter Verpuffung und Lichtentwickelung in ihre zweigasförmigen Bestandtheile zerfallen, nicht sauer sind, und etwas reichlicher, als das Chlorgas vom Wasser absorbirt werden.

Die *Chlorsäure*, *hyperoxygenirte Salzsäure* (36 Chlor und 40 Sauerstoff), noch nicht im reinen Zustande bekannt, bildet mit Wasser eine farblose, sauer schmeckende verdampfbare Flüssigkeit, und mit den Salzbasen die *chlorsauern Salze*, welche in der Hitze gröſstentheils in Sauerstoffgas und Chlormetall, oder in Sauerstoffgas, Chlorgas und Metalloxyd zerfallen, welche mit brennbaren Körpern durch die Hitze und oft schon durch den Schlag verpuffen (sofern der Sauerstoff der Chlorsäure und oft zugleich des Metalloxyds sich mit den brennbaren Körpern unter Feuerentwickelung verbindet), welche mit Vitriolöl Chloroxydgas entwickeln (während sich zugleich oxydirte Chlorsäure erzeugt), welche die Silbersalze nicht niederschlagen und nicht zerstörend auf Pflanzenfarben wirken.

Die *oxydirte Chlorsäure* (36 Chlor auf 56 Sauerstoff, ist ebenfalls nur in Verbindung mit Wasser oder Salzbasen bekannt, und zeigt dann ähnliche Verhältnisse, wie die Chlorsäure, so weit dieses bis jetzt erforscht ist. Jedoch entwikkeln die oxydirt chlorsauren Salze mit Vitriolöl kein Chloroxydgas, sondern lassen bei stärkerem Erhitzen des Gemisches die oxydirte Chlorsäure unzersetzt übergehen.

Mit dem *Wasserstoff* bildet das Chlor die *Salzsäure*, *Hydrochlorsäure* (36 Chlor auf 1 Wasserstoff). Die Verbindung der zu gleichen Massen zusammengebrachten Gase erfolgt nur bei Einwirkung des Lichts, einer höheren Temperatur, oder eines elektrischen Funkens, und ist, wenn sie augenblicklich erfolgt, von Feuererscheinung und Verpuffung begleitet. Die reine Salzsäure, welche man durch Erhitzen von Kochsalz mit Schwefelsäure zu bereiten pflegt, erscheint als

ein farbloses Gas von ungefähr 1,254 spec. Gewicht, riecht erstickend sauer, und erregt an der Luft Nebel. Durch einen Druck, welcher ungefähr 40 Atmosphären gleicht, wird dieses Gas bei 10° C. zu einer farblosen tropfbaren Flüfsigkeit verdichtet. Es wird schnell, reichlich und unter Erhitzung vom Wasser verschluckt, mit dem es die wässerige Salzsäure bildet, welche im reinen Zustande ebenfalls farblos, meistens aber etwas gelblich ist, im concentrirten Zustande an der Luft raucht, und deren höchstes spec. Gewicht 1,211 beträgt. Mit vielen Salzbasen erzeugt die Salzsäure die *salzsauren Salze*; mit andern zersetzt sie sich dagegen schon in der Kälte in Wasser und Chlormetall, worin auch die meisten übrigen salzsauren Metalloxyde bei der Verflüchtigung des Wassers durch Erhizzung oder Entziehung mittelst Vitriols u. s. w. übergehen. Aufserdem werden die salzsauren Metalloxyde dadurch erkannt, dafs sie häufig mit Schwefelsäure salzsaures Gas, mit Schwefelsäure und Braunstein Chlorgas entwickeln, und dafs sie gleich der reinen Salzsäure das salpetersaure Silberoxyd und Quecksilberoxydul selbst bei grofser Verdünnung und Ueberschufs der Salpetersäure reichlich niederschlagen.

Das Chlor ist mehr oder weniger leicht, zum Theil unter Feuerentwickelung, mit Kohlenstoff, Boron, Phosphor, Schwefel, Selen, Jod und Stickstoff verbindbar. Diese Verbindungen sind theils gasförmig, theils tropfbar flüssig, theils fest und krystallinisch, jedoch immer leicht verdampfbar. Mehrere derselben zersetzen sich mit Wasser auf die Art, dafs das Chlor durch Aufnehmen von Wasserstoff aus derselben in Salzsäure verwandelt wird, während sich der Sauerstoff des Wassers mit dem andern Körper vereinigt. Auch mit den meisten Metallen ist es verbindbar, und mit vielen derselben theils bei gewöhnlicher, theils bei höherer Temperatur unter Feuerentwickelung. Auch gehen viele salzsaure Metalloxyde durch Wasser in Chlormetalle über. Die *Chlormetalle* sind theils tropfbar flüssig, theils fest, und im Ganzen schmelzbarer und flüchtiger als das Metall, welches sie enthalten. Aus den meisten derselben läfst sich durch Erhitzen das Chlorgas nicht austreiben; diese erleiden denn auch keine Zersetzungen beim Glühen mit reiner Kohle oder mit trockner Borax- oder Phosphorsäure; dagegen erfolgt die Zersetzung, wenn noch Wasser hinzutritt, weil durch

dessen Bestandtheile einerseits Salzsäure entstehen kann, welche sich entwickelt; andrerseits Kohlensäure oder Metalloxyd, welches letztere mit der Borax- oder Phosphorsäure in Verbindung tritt. Die meisten Chlormetalle sind im Wasser löslich und diese Lösung ist entweder als eine solche, oder als Auflösung von salzsauren Metalloxyd in Wasser zu betrachten, und kömmt ganz mit der Verbindung überein, welche man durch Zusammenbringen wässriger Salzsäure mit Metalloxyd erhält.

Die Verhältnisse des Chlors sind hier nach der *chloristischen* Ansicht gegeben worden. Nach der *antichloristischen* besteht das Chlor oder die oxygenirte Salzsäure aus 8 Sauerstoff und 28 einer (nicht in diesem Zustande bekannten, also hypothetischen) trocknen Salzsäure. Letztere besteht aus 12 *Muriatum* einem hypothetischen brennbarer Körper und aus 16 Sauerstoff; die oben angeführten Verbindungen des Chlors mit Sauerstoff sind demzufolge die höhern Oxydationsstufen des Muriatums. Die Salzsäure, wie wir sie als salzsaures Gas kennen, ist eine Verbindung von 28 hypothetisch trockener Salzsäure mit 9 Wasser, und bildet sich daher auch, wenn man zu dem oxydirt salzsauren Gase Wasserstoffgas bringt, indem sich letzteres mit dem Sauerstoff des erstern zu Wasser verbindet, welches dann mit der hypothetisch trockenen Salzsäure, in welche die oxydirte Salzsäure durch das Abtreten von Sauerstoff verwandelt ist, in Verbindung tritt. Eben so wird bei der Verbindung des Phosphors oder eines Metalls in oxydirt salzsaurem Gase angenommen, daſs sich Phosphor oder Metall mit dessen Sauerstoff zu Säure oder Metalloxyd vereinige, welche dann mit der hypothetisch trockenen Salzsäure zu demjenigen zusammentreten, was nach der chloristischen Theorie als Chlorphosphor oder Chlormetall angesehen wird. Kurz alle bis jetzt bekannte Thatsachen lassen sich auch nach der antichloristischen Theorie erklären, und wie wohl sie weniger einfach ist, weniger die Analogie für sich hat (denn Schwefel, Selen, Jod und Cyan zeigen dem Chlor ganz ähnliche Verhältnisse) und 2 Substanzen annimmt, die sich noch nie haben darstellen lassen, so läſst sie sich doch durch keine Erfahrung widerlegen. *G.*

Chrom.

Chromium; *Chromium*; Chrome; *Chromium.* (Von χρόω ich färbe). Dieses Metall findet sich vorzüglich in Chromeisenstein und im rothen Bleispathe. Es ist stahlgrau, mäſsig hart, nicht magnetisch, höchst strengflüssig und hat nach Richter ein specifisches Gewicht von nur 5,900.

Seine zwei wichtigsten Verbindungen mit Sauerstoff, zwischen denen vielleicht noch ein braunes Oxyd liegt, sind die des *Chromoxyduls* und der *Chromsäure*. Das *Chromoxydul* (28 Chrom auf 12 Sauerstoff) ist in der Kälte dunkelgrün, in der Hitze braun. Es bildet mit Wasser ein bläulichgrünes Hydrat, und mit Säuren die Cromoxydulsalze. Diese sind theils grün, theils blau, und geben mit reinem und kohlensauerm Kali einen grünen Niederschlag, welcher sich in einem Ueberschuſs desselben mit grüner Farbe wieder auflöset.

Die *Chromsäure* (28 Chrom auf 24 Sauerstoff) erscheint, wenigstens in dem mit Schwefel- Salz und Salpetersäure verunreinigten Zustande, in welchem man sie bis jetzt erhalten hat, als eine dunkelbraunrothe krystallinische Materie, die Lackmus röthet, in der Hitze Sauerstoffgas entwickelt und auch durch organische Körper, Hydrothionsäure u. s. w. zu Chromoxydul reducirt wird. Sie löset sich leicht in Wasser, mit intensgelber Farbe. Mit den Salzbasen bildet sie die chromsauren Salze, von denen die meisten durch gelbe, wenige durch rothe und braune Farbe ausgezeichnet sind.

G.

Chromaskop.

(Von Χρῶμα Farbe und σκοπεῖν, schauen). Unter diesem Namen hat Lüdicke ein Instrument angegeben[1], dessen Hauptzweck die Bestimmung des Brechungverhältnisses für die verschiedenen Farbenstrahlen zu seyn scheint. Die Beschreibung, die mit ermüdender Weitläuftigkeit bei den einzelnen Theilen des Werkzeuges verweilt, und dem Leser dadurch das Auffassen des Wesentlichen sehr erschwert, muſs man a. a. O. selbst nachle-

1 G. XXXVI. 127.

sen. Das Wesentliche scheint zu seyn, daſs man bei richtiger Stellung des Prisma's, welches sich an einem Ende des Kastens befindet, die Breite der Farbenstreifen am andern Ende genau abmiſst, und daraus die Winkel und das Brechnungsverhältniſs bestimmt.

Da indeſs dieses durch andere Methoden schon besser geleistet ist, so wird das Instrument wohl nicht in allgemeinen Gebrauch kommen. *B.*

Chronhyometer.

Von χρόνος die Zeit, ὑετός der Regen und μετρέω ich messe, ist ein von Landriani erfundenes Werkzeug, welches bestimmt ist, die Zeit des Regnens zu messen[1], wovon man aber wegen seiner Kostbarkeit, Unsicherheit und des zu erwartenden geringen Nutzens keinen Gebrauch gemacht zu haben scheint. Seine Einrichtung ist kürzlich folgende: A ist ein weites konisches Gefäſs, welches auſserhalb des Daches angebracht wird, den Regen aufzufangen. Dieser wird sich in der Spitze sammeln, und bei einer geringen Quantität wird der kleine Heber a zu laufen anfangen, der Rest aber durch die weite Röhre s stets ablaufen, so daſs das Niveau unverändert bleibt, und weiſs man dann die Zeit, in welcher der Heber eine gewisse Quantität Wasser liefert, so kann man aus der Menge des in einem mit dem Heber verbundenen Gefäſses enthaltenen Wassers die Zeit des Regnens berechnen. Hierdurch wird indeſs bloſs die Dauer des Regens angegeben nicht aber die Zeit des Anfanges. Um auch diese zu wissen, dient eine im Zimmer unter dem Regenmesser angebrachte, durch ein Uhrwerk einmal täglich um ihre Axe gedrehete horizontale Scheibe, deren Oberfläche schwarz gefärbt und nach den Stunden getheilt seyn soll. Ueber derselben ist der Hebelarm m n fein balancirt, und trägt am einen Ende den weiſsen Bleistift α nebst dem konischen Gefäſse v mit dem kleinen Heber l. Indem das Wasser dann aus dem Regenmaſse durch den beschriebenen Heber in dieses Gefäſs v läuft, erhält der Hebelarm das Uebergewicht, drückt den Bleistift gegen die Scheibe, und zeichnet die Stunden des Regnens.

Fig. 40. Fig. 41.

1 J. de Ph. XXII. 280.

Um das Verstopfen der kleinen Heber zu verhüten, soll ihr längerer Schenkel trompetenförmig erweitert seyn; allein man begreift leicht, wie unsicher eine solche feine und zusammengesetzte Maschine für den bestimmten Gebrauch sey. *M.*

Chronologie.

Chronologia; Chronologie; *Chronology*; von χρόνος die Zeit u. λόγος ist die Wissenschaft, welche sich mit der Abmessung der Zeit oder der Vergleichung der zu ihrer Abmessung dienenden Zeit-Eintheilungen beschäftiget. Ihr mathematischer Theil muſs also die wahre Gröſse der Tage, Jahre u. s. w. angeben, die man entweder wirklich zur Zeitmessung anwendet, oder die (wie es mit dem ganz genauen Sonnenjahre in Vergleichung gegen das bürgerliche Jahr der Fall ist) wenigstens den wirklich angewandten zur Richtschnur dienen; ihr angewandter Theil zeigt, wie diese Zeit-Eintheilungen bei den verschiedenen Völkern wirklich gebraucht sind; wie man die Bestimmung der verschiedenen Zeitrechnungen auf einander zurückführen, die an gewisse Erscheinungen geknüpften Bestimmungen von merkwürdigen Tagen, Festen u. dergl. erhalten könne u. s. w.

In den *mathematischen* Theil gehören daher vorzüglich diejenigen astronomischen Lehren, welche die Zeiträume, da die Sonne und der Mond zu gleichen Stellungen zurückkehren, angeben, indem diese allen Zeit-Eintheilungen zum Grunde liegen. Die angewandte Chronologie setzt eine historisch genaue Kenntniſs dessen voraus, was theils als Regulirung der Jahre bei verschiedenen Völkern angenommen war, theils ihren Kalender, die Anordnung der Monate, der Feste u. s. w. betraf, oder diese Gegenstände bei uns regulirt.

Unter den Alten haben sich viele Astronomen mit der Chronologie beschäftigt; ihr Bestreben ging vorzüglich darauf hin, das Jahr, dessen Dauer noch nicht genau bekannt war, zu bestimmen, und die Jahrrechnung, die Anordnung des bürgerlichen Jahres so festzusetzen, daſs dabei so weit es möglich schien, die Uebereinstimmung mit der Wiederkehr der Jahreszeiten erhalten werde. Von den darauf gerichteten Bemühungen so wie von den ähnlichen Bemühungen in neuern Zeiten wird in den

Artikeln *Jahr* und *Kalender* die Rede seyn. In Rücksicht auf die *historische* Chronologie hat sich Ptolemaeus durch die Anknüpfung derselben an sichere astronomische Beobachtungen ein Verdienst erworben, welches in Beziehung auf uns wenigstens wichtig ist, da nur allein von ihm solche Vergleichungen auf unsre Zeiten gekommen sind. In neuern Zeiten haben sich mit dem historischen Theile der Chronologie sehr viele Gelehrte beschäftigt; es scheint mir aber hier gerade nicht der Ort, diese mehr der Geschichte als der Mathematik und Physik angehörenden Verdienste umständlich zu erzählen. Ich führe daher nur noch ein, soweit mir zu urtheilen erlaubt ist, höchst gediegenes, gründliches und vollständiges Buch über diese Wissenschaft an, nämlich: Idelers Handbuch der mathematischen und technischen Chronologie, (Berlin 1825) wovon bis jetzt nur der erste Theil erschienen ist. *B.*

Chronometer.

Zeitmesser, Zeithalter, Seeuhr, Längenuhr; Chronomètre, Garde-tems, Montrè marine; *Chronometer, Timekeeper.* Von χρόνος die Zeit und μετρέω ich messe. Eine tragbare *Uhr* von grofser Vollkommenheit, die zur Bestimmung der *geographischen Länge* gebraucht wird. Bekanntlich ist diese letztere nichts anders, als der Unterschied zwischen der wahren Sonnenzeit an einem gegebenen Orte und derjenigen in einer andern, welcher als Normalstation angenommen wird. Für diese gilt bei den englischen und andern Seefahrern meistens die Sternwarte in *Greenwich*, bei den französischen und bei den Astronomen des Continents die *Pariser Sternwarte.* Hätte man nun eine Uhr von vollkommen richtigem, unveränderlichem Gange, die z. B. in *Greenwich* zur Zeit, als die Sonne daselbst durch den Meridian ging, genau auf 12 Uhr 0 Min. 0 Sec. gestellt worden wäre, so würde diese auch zwei Monate später in Amerika immer die Zeit angeben, welche es in einem gegebenen Momente in *Greenwich* ist. Hat man sodann an jenem Orte nach einer andern guten Uhr die wahre Zeit aus Beobachtungen bestimmt, so wird der Unterschied beider Uhren den Abstand des Meridians jenes Ortes von dem von Greenwich in Stunden,

Minuten und Secunden angeben, welche nach dem Verhältnifs von 24 St. zu 360° oder 1 : 15 leicht in Grade und deren Theile zu übersetzen sind. Dieser östliche oder westliche Abstand des Ortes von Greenwich heifst dann seine geographische Länge. Da man nun im Stande ist, entweder durch Aufstellung eines Passageinstrumentes, durch correspondirende oder auch einzelne Sonnenhöhen die wahre Zeit an jedem Orte mit aller Genauigkeit zu bestimmen, so begreift man leicht, dafs eine so zuverlässige Uhr das einfachste Mittel zur Bestimmung der geographischen Länge wäre. Dafs die Uhr gar keinen *täglichen Gang* haben sollte, ist kaum anzunehmen, hat aber auch auf das Resultat keinen Einflufs, wenn nur ihre Acceleration oder Retartation von einem Tage zum anderen genau sich gleich bleibt. Denn gesetzt, die Uhr gehe täglich 2,5 Sec. vor, so müfsen für 2 Monate oder 61 Tage 61 × 2,5 = 152,″5 oder 2′ 32″, 5 von der Uhrzeit abgezogen werden.

Man unterscheidet im Englischen diese Kunstwerke auch in *Pocket-Chronometer* und *Pox-Chronometer* Taschenchronometer und dosenförmige Chronometer oder Seeuhren. Die ersten sind in Form und Gröfse den Taschenuhren ähnlich, und sind bestimmt, in der Tasche getragen zu werden, wobei es jedoch rathsam ist, sich eines zu harten Ganges und aller starken Erschütterungen zu enthalten; des Nachts werden diese Uhren in einem viereckigen Kästchen *stehend* bewahrt; es sey denn, dafs sie so gut abgeglichen sind, dafs sie in jeder Lage den nämlichen Gang beibehalten. Die Box-Chronometer befinden sich in einem geräumigen hölzernen Kästchen, in welchem sie, wie die Compasse, in zwei Ringen horizontal aufgehängt sind, damit sie bei den Schwankungen des Schiffes in möglichst gleicher Lage bleiben. Sie sind auch gewöhnlich gröfser als die andern Chronometer. Beide Arten von Uhren werden alle 24 Stunden, wo möglich immer zur nämlichen Zeit, aufgezogen; die meisten gehen 30 Stunden; einige auch zwey, ja sogar acht Tage lang, damit, wenn einmal das Aufziehen vergessen würde, dennoch der ursprügliche Stand der Uhr, auf welchen man sich bey Herleitung der Länge bezieht, nicht verloren sey.

Die Wichtigkeit der Kenntnifs der geographischen Länge für die Sicherheit der Schiffahrt bewog schon früh verschiedene Regie-

rungen, Preise auf das beste Mittel, die Länge zur See zu finden, auszusetzen, die dann auch namentlich auf die Verbesserung der Uhren ausgedehnt wurden. Der erste, der von der Anwendung der (wie er bemerkt, kurz zuvor erfundenen) Uhren zur Findung der Meereslänge spricht, ist GEMMA FRISIUS [1]. Später, nach Erfindung des Pendels mit der Spiralfeder (der Unruhe) durch HUYGENS um das J. 1664 beschäftigten sich Dr. HOOKE und HUYGENS selbst mit diesem Gegenstande, und wirklich wurde eine von dem letztern verfertigte Uhr im J. 1665 auf eine Reise nach der Küste von Guinea mitgenommen und soll auf der Rückreise die Länge der Insel Fuego am grünen Vorgebirge mit grofser Genauigkeit angegeben haben. Obwohl dieser gute Erfolg ihn zur fernern Verbesserung seiner Werke antrieb, so überzeugte HUYGENS sich doch, dafs, so lange man diese Maschinen nicht von der Einwirkung der Wärme und Kälte, und andern Störungen unabhängig machen könnte, sie ihrem Zwecke nicht genügen würden.

Im J. 1714 bewilligte das englische Parlament 2000 Pf. Stlg. zu Versuchen über diesen Gegenstand, und überdem einen Preis von 10000 Pf. für den Erfinder einer Methode, die Meereslänge bis auf einen Grad zu erhalten. Durch eine spätere Acte wurde dieser Preis genauer bezeichnet, und zu 5000 Pf. für den Verfertiger einer Uhr festgesetzt, welche auf einer Reise von 6 Monaten die Länge des Schiffes bis auf einen Grad genau gäbe, zu 7500 Pf., wenn sie nicht über zwei Drittheile eines Grades oder 40 Min. fehlte, und zu 10000 Pf. wenn sie bis auf einen halben Grad genau wäre. Aehnliche Bestimmungen wurden auch für die Verbesserung der Methode der Monddistanzen ausgesprochen.

Aller dieser Aufmunterungen unerachtet machte die Chronometrie keine Fortschritte, bis ein Mann aufstand, der durch Scharfsinn, Beharrlichkeit und Erfindungsgabe die vorher unübersteiglichen Schwierigkeiten zu beseitigen wufste, und der als der eigentliche Schöpfer dieser zu einer unglaublichen Vollkommenheit gebrachten Kunst anzusehen ist. Dieser war JOHN HARRISON, geb. i. J. 1693 zu Foulby in Yorkshire, der

---

1 Principia Astronomiae. Antwerp. 1530.

Sohn eines Landzimmermanns, welcher zugleich mit Feldmessen und Repariren der Uhren in der Umgegend sich abgab. Bei einem aufserordentlichen Hange zur Maschinerie hatte der junge HARRISON doch nur schlechte Gelegenheit, seinen Durst nach Kenntnissen zu befriedigen; er verwandte die Nächte zum Schreiben und Zeichnen, und scheute die Mühe nicht, SAUNDERSON's Vorlesungen über die Physik, die der Ortspfarrer im Manuscript ihm mitgetheilt hatte, mit allen Figuren zu copiren. Im J. 1726 verfertigte er zwei Uhren gröfstentheils aus Holz mit Compensationspendel und Echappement von eigner Erfindung, die alles Vorherige übertrafen, indem sie in einem ganzen Monat nur 1 Sec. Fehler gaben. Im J. 1728 kam er nach London mit Zeichnungen zur Construction einer See-Uhr, wozu er bei der Comission für die Meereslänge Unterstützung suchen wollte. Der Königl. Astronom Dr. HALLEY wies ihn an den Mechaniker GRAHAM und dieser rieth ihm, die Sache erst für sich selbst auszuführen, und nachher bei jener Behörde sich zu melden. HARRISON erschien erst nach acht Jahren wieder mit seinem vollendeten Werk, das im folgenden Jahre auf einer Reise nach Lissabon eine günstige Prüfung bestand. Im J. 1739 brachte er eine zweite einfachere und bessere Uhr, die ihm; obgleich sie keiner Seereise unterworfen wurde, doch im Publicum viele Gönner erwarb. Sie wurde jedoch, zehn Jahre später von einer noch einfachern und bessern, die nur 3 bis 4 Sec. wöchentlich abwich, übertroffen. HARRISON glaubte hier am Ziele seiner Bestrebungen zu stehen; doch der Versuch, seine neuen mechanischen Grundsätze auch auf die Verbesserung der Taschenuhren anzuwenden, welcher über seine Erwartung gelang, vermochte ihn, einen vierten Chronometer zu verfertigen, welcher die Form einer Taschenuhr von 6 Zoll in Durchmesser erhielt. Mit diesen machte sein Sohn vom November 1761 bis März 1762 eine Reise nach Jamaica und zurück, deren Resultat war, dafs das Chronometer in 4 Monaten nur 114¼ Sec. von Zeit, oder 28½ Min. im Bogen abgewichen war. Dieses war noch unter der Gränze, welche die Parlamentsacte festgesetzt hatte, und HARRISON meldete sich um den vollen Preis. Man erhob jedoch Zweifel über die wahre Länge von Jamaica, über die gebrauchte Art der Zeitbestimmung daselbst so wohl als in Portsmouth, und wollte in dieser

einmaligen Probe keine Garantie für die künftige Zuverlässigkeit des Werkes finden. Nachdem man Beobachter zur Bestimmung der wahren Länge von Jamaica ausgesandt hatte, ging im März 1764 der Sohn WILLIAM HARRISON nach BARBADOS ab, wo er in der Mitte Mai's ankam. An beiden Orten, in Portsmouth und Barbados, war die Zeit durch correspondirende Höhen bestimmt worden, nach welchen der Chronometer den Längen-Unterschied beider Oerter zu 3st 55′ 3″, angab, statt dafs ihn die astronomischen Beobachtungen zu 3st 54′ 20″ bestimmt hatten; der Fehler betrug also nur 43 Sec. in Zeit, oder 10′ 45″ im Bogen. HARRISON erhielt nun endlich die eine Hälfte der festgesetzten Belohnung, nachdem er schon vorher mehrere Summen theilweise empfangen hatte. Dagegen übergab er der Admiralität seine vier Uhren mit allen dazu gehörigen Zeichnungen und Instructionen. Die Richtigkeit der von ihm aufgestellten Grundsätze erhielt ihre volle Bestätigung, als man durch den Uhrmacher KENDAL nach denselben ein neues Chronometer verfertigen liefs, das noch besser ging, als die von HARRISON selbst. Seine Trefflichkeit wurde auf COOKS zweiter Reise von 1772 bis 1775 vollständig bewährt, und HARRISON empfing endlich im J. 1774 die zweite Hälfte des Preises. Im folgenden Jahre gab er eine kleine Schrift heraus unter dem Titel: Description concerning such Mechanism as will afford a nice or true mensuration of time etc, die ein Muster der höchst verworrenen Schreibart eines unstudirten Kopfes ist. Er starb 1776 in einem Alter von 83 Jahren. Auf die Astronomen, die ihrerseits den ausgesetzten Preis durch die Verbesserung der Methode der Monddistanzen zu erringen suchten, war er nicht gut zu sprechen, und nannte sie scherzweise *Lunatics*. Diese Empfindlichkeit möchte von einem ungünstigen Urtheile über den Gang seines letzten Chronometres herrühren, das aus den Beobachtungsregistern des Königl. Astronomen Dr. MASKELYNE hervorging, welchem man nach der Reise von Barbados jenes Instrument zur fernern Prüfung übergeben hatte. Ein ähnliches Mifstrauen vermochte auch später den geschickten Künstler JOSIA EMERY zur Begründung seiner Ansprüche auf die gesetzliche Belohnung seiner Chronometer vorzugsweise einem ausländischen Astronomen, (von ZACH) zu übergeben, welcher beim Besuch verschiedener Sternwarten

Europa's die Uhren jedesmal dem dortigen Astronomen behändigte, und es diesem überliefs, durch Vergleichung mit seiner berichtigten Pendel-Uhr die geographische Länge herzuleiten, und nachher das Resultat bekannt zu machen. Auf diese Weise erhielt der Sachwalter EMERY's mehrere Zeugnisse für die Güte seiner Chronometer, gegen deren Gültigkeit kein Zweifel erhoben werden konnte.

In Frankreich bemühten sich LE ROY und die beiden BERTHOUD's um die Verbesserung der Chronometer, während dem in England verschiedene Künstler, namentlich ARNOLD, KENDAL, BROOKBANKS, PENNINGTON, MUDGE, EMERY, BARRAUD und vorzüglich EARNSHAW [1] auf dem von HARRISON geöffneten Pfade mit Erfolg fortschritten. Der letztere erhielt im J. 1803 von der englischen Admiralität eine Belohnung von 3000 Pf. Stlg.

Im Deutschland haben SEIFFERT in Dresden, BUTZENGEIGER in Tübingen, und AUCH in Weimar sich mit diesem Gegenstande beschäftigt; es sind jedoch nicht hinreichende Notizen über den Gang dieser Kunstwerke bekannt geworden.

In Dänemark haben in den neusten Zeiten JÜRGENSEN in Kopenhagen und KESSELS in Altona sehr gute Chronometer verfertigt, von denen die astronom. Nachrichten des Prof. SCHUMACHER [2] Kenntnifs geben. Die meiste Bewunderung aber erwecken die Kunstwerke BREGUET's in Paris, die Alles was bisher in diesem Fache geleistet worden, übertreffen, von denen jedoch erst im J. 1819 in den Ann. de Chim. Bd X. p. 113 und im J. 1823 in Schumachers Astron. Nachr. Bd. I. p. 109 einige Register ihres Ganges bekannt gemacht worden sind [3].

Die Hauptstücke, worauf es bei der Verfertigung eines *Chronometers* ankommt, sind folgende: 1. Der *Druck*, wel-

---

1 Earnshaw hat die Grundsätze und die Einrichtung seiner Chronometer in einer besondern gegen ARNOLD gerichteten Streitschrift entwickelt unter dem Titel: Explanation on the Time-Keepers constructed bi Mr. Thomas Earnshaw and the late Mr. John Arnold. London. 1806.

2 Bd I. p. 209, 283, 510; ferner Bd. III. p. 153 und 169.

3 Ein detaillirtes Verzeichnifs der Chronometer und anderer Uhren von Breguet findet sich in Schumacher's Astron. Nachr. IV. Nro. 77 Beilage. Nach demselben kosten die Box-timekeeper 2400 bis 3000 Francs; die Taschenchronometer in Gold 1800, in Silber 1500 Francs. Sehr vorzügliche Werke dieser Art sind auch höher im Preise.

chen die Hauptfeder auf das Räderwerk, und durch dieses auf die Unruhe ausübt, muſs beständig von *gleicher* Stärke seyn. Die in dem gewöhnlichen Taschen-Uhren angebrachte Schnekke ist dazu unzureichend. HARRISON half sich durch Anbringung einer kleinen schwachen Feder, die nur $\frac{1}{8}$ Minute lang auf das Gehewerk wirkte, und immer wieder durch die Hauptfeder aufgezogen wurde. Die neuen Künstler erreichen ihren Zweck dadurch, daſs sie *lange* nicht stark gespannte Federn gebrauchen, und BREGUET bringt, wie SCHUMACHER berichtet, in seinen Chronometern sogar zwei Federn an, die zu beiden Seiten in das Getriebe des Minutenrades eingreifen. Eben dahin wirkt denn auch

2. die Beschaffenheit der *Auslöfsung* oder des sogenannten *Echappements*, das so eingerichtet seyn muſs, daſs die Hauptfeder nur durch das Intermedium freischwebender Hebel der Unruhe einen augenblicklichen Anstoſs zur Fortsetzung ihrer Bewegung ertheilen kann, und die Unruhe den gröſsten Theil der Zeit von dem Werke selbst unabhängig ist. Man glaubte, durch die *Schnelligkeit* der Schwingungen die Dauer der Berührungsmomente abzukürzen, und lieſs daher die Unruhe bis auf fünf Schläge in der Secunde machen. Es giebt jedoch mehrere und zwar von den besten Chronometern, die nur halbe Secunden schlagen, was nebenbei ihren Gebrauch bei Beobachtungen wesentlich erleichtert, indem man die Secunden nach dem Gehör fortzählen kann, was bei ungeraden Schlägen nicht wohl möglich ist. Dagegen dürfte die Schnelligkeit der Schwingungen, die auch durch die Gröſse des Ausschlags zu erreichen ist, dazu beitragen, die Unruhe gegen rasche äuſsere Bewegungen in der Richtung ihrer Ebene unempfindlicher zu machen.

3. Nicht minder wichtig ist die *Gröſse der Unruhe*, welche das gewöhnliche Verhältniſs bedeutend übertrifft, so daſs sie durch ihr statisches Moment, verbunden mit einer starken Spiralfeder, groſse und kräftige Schwingungen zu machen fähig sey, und vom Räderwerk gerade nur denjenigen Impuls empfange, welcher zur Fortsetzung der durch Reibung, und den Widerstand der Luft und der Spiralfeder geschwächten Bewegung nothwendig ist. Man pflegt die Schwere der Unruhe durch zwei kleine, an den Enden eines Diameters befindliche

cylindrische Gewichte zu vermehren, welche an einem feinen Schraubengang dem Centrum näher gerückt oder von ihm entfernt werden können, um durch dieses die Schnelligkeit der Schwingungen oder den mittlern Gang der Uhr zu reguliren. Die Spiralfeder selbst bleibt unverändert; sie ist von bedeutender Länge und Stärke, zuweilen des Rostens wegen nicht aus Stahl, sondern aus stark gehämmertem Golde verfertigt. Arnold und andere Künstler gaben ihren Umgängen eine cylindrische Form; Earnshaw hält dieses für unwesentlich.

4. Die *Reibung* muſs aufs möglichste vermindert, und diejenigen Theile, welche derselben am meisten ausgesetzt sind, müssen aus solchen Stoffen verfertigt werden, die keine Abnuzzung erleiden, damit die Uhr nicht mit der Zeit ihre Tauglichkeit verliere. Zu diesem Ende ist nicht nur das Räderwerk, sowohl in Absicht auf Ausarbeitung als auch in Beziehung auf die gröſsere Zahl der Triebstärke von besonderer Vollkommenheit, sondern es ist auch bei den besten Uhren dieser Art das Messing von allen denjenigen Theilen, die gröſserer Reibung ausgesetzt sind, ausgeschlossen, und diese werden nur von Stahl verfertigt, gehärtet und aufs höchste polirt; die Zapfenlöcher mit ihren Deckplatten, und eben so die eingreifenden Haken oder Stifte sind von harten Steinen, Agaten oder Rubinen. Man wollte eine Zeitlang behaupten, daſs solche Uhren kein Oel erfordern, und der jüngere Arnold ging so weit, dieses als einen Vorzug seiner Chronometer vor Gericht namhaft zu machen; doch verrieth der Geruch die Gegenwart desselben. Von groſsem Einfluſs ist die Reinheit und Unveränderlichkeit des Oeles, das weder durch die Reinigungsmethode, noch ursprünglich irgend eine Anlage zur Säurung enthalten darf. Man nimmt daher hierzu nur den freiwilligen ungepreſsten Ablauf guter reifer Oliven [1]. Auſserdem hat die Entfernung des Messings auf den Stellen der stärksten Reibung noch den Nutzen, daſs nicht die durch Berührung heterogener Metalle hervorgebrachte Elektricität einen Sauerungsproceſs einleitet, der das Ranzigwerden des Oels und seine Zähigkeit beschleunigen würde.

---

1 S. von Zach Corresp. Astron. Vol. III. p. 174.

5. Noch bleibt ein wesentliches Hindernifs eines regelmäfsigen Ganges zu beseitigen übrig, der Einflufs der *Temperatur*. Die Wärme macht die Spiralfeder schwächer, und dadurch die Schwingungen der Unruhe langsamer. Man begegnet diesem Kraftverlust, indem man zwei an der Unruhe angebrachte kleine Gewichte durch die Wirkung eben derselben Wärme dem Centrum näher rücken läfst, wodurch das Trägheitsmoment der Unruhe erleichtert und sie fähig wird, auch bei geringerer Kraft der Feder eben so schnelle Schwünge zu machen, wie vorher [1].

6. Alle einzelnen Theile des Werkes, die an Axen sich bewegen, müssen aufs Beste *aequilibrirt* seyn. Besonders gilt dieses von der Unruhe, welche, wenn sie (ohne Spiralfeder) sich selbst überlassen ist, nirgend eine Ueberwucht zeigen soll. Dafs die Axen an ihren Ansätzen keine eigentliche Reibung haben, sondern nur mit der äufsersten Spitze einen von harten Steinen verfertigten Deckel des Zapfenlochs berühren sollen, ist eine Bedingung, die sich bereits aus den in Nr. 4 gemachten Bemerkungen ergiebt.

Die *Chronometer* in ihrer gegenwärtigen Vollkommenheit sind ein wichtiges Beförderungsmittel der Schifffahrt und der nautischen Geographie geworden. Die Leichtigkeit, mit welcher man aus einigen Sonnenhöhen jeden Augenblick die wahre Zeit finden, mithin die Ortsveränderung des Schiffes in der Länge bestimmen kann, macht dieses Werkzeug auch besonders bei Küsten-Aufnahmen zur Bestimmung der Mefsungsstationen sehr nützlich. So trefflich übrigens die Dienste sind, welche ein gutes Chronometer für die Bestimmung der täglichen Länge leistet, so wird dennoch jeder Seefahrer wohlthun, von Zeit zu Zeit die Angaben desselben durch Längenbestimmungen aus Monddistanzen zu prüfen, welche bei der gegenwärtigen Genauigkeit der Spiegelsextanten, der Reductionsmethoden, und besonders der Mondstafeln ein zuverlässigeres Resultat gewähren, als diese kleinen, so manchem Zufall ausgesetzten Maschinen. Etwas entbehrlicher wird diese Prüfung auf kürzern Ueberfahrten, und besonders wenn man im Besitz mehrerer wohlgeprüfter Chronometer der besten Art sich befindet,

---

1 Vergl. *Compensation*.

deren relative Aenderung bei dem Wechsel der Temperaturen (die immerhin auf die Fluidität des Oeles einen unausweichlichen Einfluſs behalten) man kennen gelernt hat. In diesem Falle läſst sich aus der bloſsen täglichen Vergleichung der Uhren mit einander die Epoche und das Quantum der Aenderung ihrer relativen, mithin auch diejenige ihres absoluten Ganges erfahren. Ueberdem liegt es in den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit, daſs wenn alle Chronometer von gleicher Güte sind, das arithmetische Mittel aus Allen der Wahrheit sehr nahe kommen werde. Sind sie es nicht, so läſst sich die Zuverlässigkeit des einen und andern durch Zahlen ausdrücken, nach welchen ihre Angaben beim Zusammenschlagen derselben modificirt werden müssen. Ein wichtiger Vorzug chronometrischer Längenbestimmungen liegt noch darin, daſs sie von keiner Art zweifelhafter Elemente, wie Mondsdurchmesser, Parallaxe, Abplattung, Refraction u. s. w. abhängig sind. Dieses mag wohl die englische Admiralität veranlaſst haben, einige wichtige Puncte durch Chronometer bestimmen zu lassen. Im Sommer 1822 sandte sie den Dr. Tiarks von Greenwich nach Madeira mit 17 Chronometern; im Sommer 1823 von Dover nach Falmouth und zurück mit 29 im Sommer 1824 nach Helgoland mit 36 Chronometern; die Länge von Falmouth ergab sich hieraus zu 20′ 11,″3 west. von Greenwich, statt daſs sie aus den trigonometrischen Messungen nur zu 20′ 6,″9 bestimmt worden war.

Mit Recht haben berühmte Seefahrer und Kenner der nautischen Astronomie [1] sich gegen die Gleichgültigkeit erhoben, mit welcher oft bei wichtigen und kostbaren Ausrüstungen die Anschaffung eines Chronometers vernachlässigt wird. Nicht nur kürzt die tägliche Bestimmung der Länge die Reise des Seefahrers ab, indem sie ihn, falls er durch Strömungen entführt worden wäre, in den Stand setzt, immer den Curs nach seiner jedesmaligen Station zu verändern, sondern eben diese Beschleunigung der Reise ist oft für das Heil seiner Schif-

1 z. B. Krusenstern in Zachs Corresp. Astron. VII. p. 150. Capt. Basil Hall im Edinb. Philos. Journ. No 4. und von Zach an mehrern Stellen der Monatl. Corresp. und der Corr. Astron.

fer von den wichtigsten Folgen. Eine Verspätung von wenigen Stunden, um welche er dem Port zu spät sich nähert, zieht zuweilen den Untergang des Schiffes, oder einen Zeitverlust von mehrern Wochen nach sich. Die Ersparung von einigen hundert Thalern hat schon mehr als einmal den Verlust von Millionen zur Folge gehabt, selbst in Fällen, wo die Geschicklichkeit und Sorgfalt des Befehlshabers jedes Versehen der Art auszuschliefsen schien. So wurde den 2. April 1804 die englische Fregatte Apollo, die eine Flotte von 61 reich beladenen Schiffen nach Westindien begleitete, sechs Tage nach ihrer Abfahrt mit 40 dieser Schiffe vom Sturm an die Portugiesische Küste geworfen, nur darum, weil der Capitän J. W. T. Dixon durch Sturm und Strömung um 3,5 Grad weiter nach Westen getrieben worden war, als die Schifferrechnung auswies. Hätte er ein nur mittelmäfsiges Chronometer gehabt, so hätte er, da am Tage vor seinem Unglück die Sonne schien (er erhielt nämlich eine Breitenbestimmung) durch ein Paar Sonnenhöhen über das Gefährliche seiner Lage belehrt, bei dem Südwest-Sturme durch einen nördlichen Curs dem Schiffbruch entrinnen können. Die französische Fregatte Medusa verunglückte im J. 1817 aus dem nämlichen Grunde. Ein eben so warnendes Beispiel liefert das Schicksal des grofsen englischen Transportschiffes Arniston, das mit einer durch zwei Corvetten geleiteten Flotte von Ceylon nach Europa zurückkehrte. Ehe man das Vorgebirge der guten Hoffnung erreichte, verlor der Arniston die übrigen Schiffe aus dem Gesichte, und blieb nun sich selbst überlassen. Am Vorgebirge der guten Hoffnung regieren starke westliche Strömungen, welche die von Osten kommenden Schiffe in ihrem Laufe bedeutend zurücksetzen. Ungewifs über seine Länge (die Chronometer waren am Bord der Kriegsschiffe) hatte der Capitän nach guten Angaben täglich 20 nautische Meilen von seiner Rechnung abgezogen, und glaubte endlich am 11ten Tage sein Schiff nach Norden auf St. Helena wenden zu dürfen. Ein heftiger Sturm von Süden schien seine Fahrt zu begünstigen; allein wie grofs war sein Erstaunen, als er nach wenigen Stunden sich von Land umgeben, und unentrinnbar in die 100 Meilen ostwärts vom Cap liegende Struysbey hineingetrieben sah. Vergeblich warf man die Anker aus; die Wuth des Sturmes und der Wellen warf das

Schiff an die Küste, und die ganze Mannschaft, die aus einigen hundert Invaliden, etwa 50 Weibern und einer grofsen Anzahl Kindern bestand, fand ihr Grab in den Fluthen. Nur fünf Personen entkamen dem traurigen Schicksal.

Einflufs des Mangnetismus auf den Gang der Chronometer.

Schon im J. 1798 macht Varley auf die Abweichungen aufmerksam, welche durch den Magnetismus der Unruhe vermuthlich des stählernen diametralen Steges an derselben) im Gange der Chronometer hervorgebracht wurden. Er zeigte dafs ein solches Chronometer, wenn der Nordpol jenes Stäbchens nach Norden gerichtet war, täglich 5′36″ voreilte, und in entgegengesetzter Richtung um 6′48″ zurückblieb. Obwohl nun dieses Beispiel ganz aufserordentlich ist, so fand sich dennoch seither an vielen Chronometern ein Unterschied von einer oder mehreren Secunden im täglichen Gange, wenn z. B. die Zahl XII. das einemal nach dieser, das andere nach einer entgegengesetzten Richtung gekehrt wurde. Einer von Scoresby's Chronometern veränderte seinen Gang von 4″ bis 9″, wenn er, das einemal Nord-Ost, das andere mal Süd-West gerichtet wurde. Zur Zeit, als die Entdeckung vom Magnetismus der Eisenmassen im Schiffe und ihrer störenden Wirkung auf den Compafs [1] gemacht wurde, kam auch dieser Gegenstand aufs Neue in Anregung; besonders wollte man darin eine Erklärung der befremdlichen Erscheinung finden, dafs viele Chronometer auf dem Schiffe einen andern Gang annahmen, als sie kurz zuvor am Lande gehabt hatten. Ein gewisser Harvey hat über den Einflufs künstlicher Magnete viele Versuche angestellt, die aber gröfstentheils unbrauchbar sind, weil er nicht die *Unruhe*, sondern nur die *Hauptfeder* in regelmäfsige Lagen gegen einen 18 Zoll langen Magnetstab gebracht hatte. Dadurch wurde die Unruhe von zwei nach Lage und Annäherung veränderlichen, Magnetismen, dem directen des Magnetstabes und dem (von diesem erregten) der Hauptfeder sollicitirt, so dafs sich aus dieser gemischten Wirkung keine bestimmten Resultate ableiten lassen. Bei einigen dieser Versuche ging

---

1 S. den Artikel: *Ablenkung*.

die Aenderung des Ganges auf etwa 45 Sec. in plus und minus Geringe Veränderungen der Länge der Chronometer gegen den Magneten brachten bedeutende Aenderungen des Ganges hervor; doch kehrten die Uhren nach dem Versuche bald wieder zu ihren vorigen Gange zurück. Es ist wohl kaum der Mühe werth, diese Versuche, die wegen des Einflusses der Hauptfeder und der stählernen Axen kein reines Resultat gewähren können, weiter auszudehnen; ungleich sicherer möchte es seyn, den Steg der Unruhe aus Meſsing, oder wenn man die Ausdehnung dieses Metalles scheut, aus Platin zu verfertigen, und vielleicht auch dieses Metall zur Verfertigung der Compensationsstreifen anzuwenden. Scoresby schlägt vor, die Chronometer auf ein Lager zu legen, das auf einer Spitze drehend, durch eine unterhalb in einiger Entfernung angebrachte Magnetnadel in unveränderter Richtung erhalten würde. Er hat von dieser Vorrichtung gute Resultate wahrgenommen [1]. *H.*

Circummeridianhöhen.

Altitudines siderum parum a meridiano distantium. Hauteurs circon-meridiennes. Höhen der Gestirne, die in der Nähe des Meridians beobachtet sind. Man bedient sich dieser Höhen, wenn man aus Mangel an feststehenden Instrumenten die wahre Meridianhöhe nicht mit vollkommener Genauigkeit erhalten kann, und es läſst sich die wahre Mittagshöhe aus einer Reihe solcher Höhen, die mit Angabe der Zwischenzeiten nahe an der Culmination genommen sind, sehr gut bestimmen. Hat man nämlich aus correspondirenden Sonnenhöhen die Zeit des wahren Mittags bestimmt, so weiſs man bei jeder einzelnen Beobachtung, wie weit vom Mittage sie angestellt ist, und kann aus der oberflächlich bekannten Polhöhe die *Reduction auf den Meridian* für jede Beobachtung d. i. die wahre Mittagshöhe sehr genau finden, wodurch dann auch die Polhöhe selbst genau gefunden wird [2]. *B.*

---

1 Siehe das Edinb. Philos. Journ. Nr. 17. p. 41, und Nr. 19. p. 1. ferner die Philos. Transact. for 1822. p. 241.

2 Littrow. Astronomie I. S. 149. 171.

Circumpolarsterne.

Stellae polo vicinae; *Circum-Polar Stars.* Die Sterne, welche dem wahren Pole des Himmels nahe stehen. Man gebraucht sie gern zu Bestimmung der Polhöhe, weil ihre beiden Höhen im obern und untern Durchgange durch den Meridian die Polhöhe des Ortes geben, die nun noch wegen der in dieser Höhe statt findenden Refraction corrigirt werden muſs. Man hat hiebei nicht nöthig, die Declination des Sternes zu kennen, und da für Sterne, die nur wenige Grade vom Pole entfernt sind, die Höhe sich um die Zeit der Culmination sehr wenig ändert, so schadet selbst eine kleine Entfernung des Instruments von der Meridian-Ebene wenig. Der Polarstern ist hierzu vorzüglich geeignet. Selbst aus Beobachtungen des Polarsternes auſser dem Meridian läſst sich die Polhöhe gut bestimmen [1]. Aber nicht bloſs zu Bestimmung der Polhöhe, sondern auch um die Stellung der Meridian-Instrumente zu berichtigen, dienen die Circumpolarsterne. Beobachtet man nämlich an einem Fernrohr, das in einer Vertical-Ebene beweglich ist, den Durchgang des Sternes oberhalb und unterhalb des Poles, so ist die Zwischenzeit die genaue Hälfte eines Sternentages, wenn jene Vertical-Ebene die Ebene des Meridians ist; findet man also die Zwischenzeit abweichend von einem halben Sternentage, so erkennt man sogleich, nach welcher Seite die Stellung des Instruments vom Meridian abweicht, und kann auch die Gröſse dieser Abweichung leicht berechnen [2]. *B.*

Cohäsion.

Cohärenz, Zusammenhang; *Cohaesio, cohaerentia*; Cohésion, cohérense; *Cohesion*; bezeichnet den Grad der Stärke, womit die Bestandtheile fester, oder eigentlich starrer Körper zusammenhängen, oder auch den Widerstand, welchen diese Körper einer Trennung, einem Zerrissen- oder Zerbrochenwerden entgegensetzen. Diese Eigenschaft der starren Körper fällt also gleichsam mit ihrer *Festigkeit* zusam-

1 Littrows Astronomie I. 173.
2 Littrows Astron. I. 391.

men, und wird daher vielfach durch die letztere ausgedrückt[1]. Bei der Untersuchung dieses Gegenstandes sind zwei verschiedene Gesichtspuncte zu berücksichtigen, aus welchen man die Sache betrachten kann, indem man nämlich entweder die *Naturkraft* zu erforschen sich bemüht, auf welcher dieser Zusammenhang der Bestandtheile starrer Körper und der ungleiche Widerstand beruhet, welchen sie den trennenden Kräften entgegensetzen, oder unbekümmert um das eigentliche Wesen dieser bis jetzt noch unerforschten Ursache sich an die *Thatsachen* hält, und die Stärke des Zusammenhanges oder den Grad der Cohäsion der einzelnen Körper unter den mannigfaltigen bedingenden Umständen untersucht. Da das Leztere von groſsem praktischen Nutzen ist, das Erstere aber schon in Voraus keinen reellen Gewinn verspricht, so könnte man geneigt seyn, bloſs jenes zu berücksichtigen und dieses gänzlich zu vernachlässigen. Allein da die Erscheinungen der Cohäsion so tief in die eigentlichen Naturgesetze eingreifen, und mit der philosophischen Untersuchung der Naturkräfte in so genauem Zusammenhange stehen, so ist es selbst aus dem geschichtlichen Gesichtspuncte betrachtet unumgänglich nothwendig, hier das Wesentlichste von demjenigen beizubringen, was man zur Aufklärung dieser Erscheinungen an sich bisher aufgestellt hat.

1. Theoretische Betrachtungen.

Schon in den ältesten Zeiten hat man versucht, die auffallende Erscheinung der Cohäsion auf ein allgemeines Naturgesetz zurückzuführen. Nach den Peripatetikern war Härte und Zusammenhang eine *Qualität zweiter Ordnung*, oder eine Folge der Trockenheit, welche ihnen für eine *Qualität erster Ordnung* galt. Andere Scholastiker redeten von einem ursprünglichen Leime; oder von kleinen Häkchen der Atome, und Galilaei wollte diese Eigenschaft der Körper auf den Abscheu der Natur am leeren Raume zurückführen. Nach Cartesius[2] ist Härte und Zusammenhang fester Körper eine Folge der ab-

1 Vergl. über diesen Sprachgebrauch die Artikel *Anziehung* I. p. 347 und *Adhäsion* I. p. 171.

2 Princ. phil. II. §. 55.

soluten Ruhe ihrer Theile, indem dagegen die der Flüssigkeiten in steter Bewegung seyn sollen. Wie diese Erklärung sich damit in Uebereinstimmung bringen lasse, dafs die festen Körper im Ganzen bewegt werden können, ohne Aufhebung hres Zusammenhanges, ist allerdings leichter begreiflich, als dafs die Cohäsion selbst durch die Schwingungen schallender Körper nicht aufgehoben wird; indefs belohnt es sich überhaupt der Mühe nicht, solche an sich ganz unbegründete Hypothesen zu widerlegen, wie schon daraus hervorgeht, dafs im Gegensatze mit der eben aufgestellten Meinung Leibnitz [1] die Cohäsion als eine Folge der Bewegung der Körperelemente angesehen wissen will. Jacob Bernoulli [2] leitete die Cohäsion zuerst vom Drucke der Luft ab, worauf ihn wohl vorzüglich die Versuche mit sogenannten Cohäsionsplatten führten. Weil aber sowohl die Stärke der Cohäsion selbst, als auch das Verhalten der Körper im luftleeren Raume hiergegen streitet, so nahm er einen eigenen *Aether* als wirkende Ursache an, dessen Elasticität übrigens nach Winkler [3] 1912 mal stärker, als die der Luft seyn müfste, um die Stärke des Zusammenhanges beim Kupfer zu erklären, wovon ein Draht von 0,1 Z. im Durchmesser durch 299 ℔ zerrissen wurde. Als gänzlich ungenügende Hypothese ist auch diejenige zu betrachten, welche Henley [4] aufgestellt hat. Er argumentirt nämlich, dafs der Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln eine durch den Luftdruck bewirkte Cohäsion beweise. Diese reiche aber nicht hin, um die Phänomene genügend zu erklären, wohl aber das Elementarfeuer, welches als Mittel, alle Körper zu trennen, auch fähig seyn müsse, sie zusammen zu halten, um so mehr, als dasselbe in seiner eigentlichen Gestalt sich auflösend, als Licht nicht auflösend, als Elektricität wieder anziehend zeige. Ohne Zweifel sey daher die *Elektricität* das eigentliche *Elementarfeuer*, und vielleicht das Löthen der Metalle so wie das Schweisen des Eisens im Feuer ein directer Beweis für die Gül-

1 Theoria motus. Lond. 1671. 12. Phil. Tr. VI. 2213.
2 De gravitate aetheris. Amst. 1683. 8. Opp. I. 45.
3 Anfangsgründe der Phys. §. 642.
4 Phil. Trans. 1777.

tigkeit dieser Hypothese. Auch nach HUBE [1] soll die elektrische Anziehung allen Erscheinungen des Zusammenhängens zum Grunde liegen, indem alle Körper in einem gewissen Verhältnisse stets elektrisch sind. RITTERS [2] Hypothese, welche gleichzeitig durch v. ARNIM [3] aufgestellt wurde, wonach die Cohäsion mit dem *Magnetismus* zusammenfallen oder mindestens damit verwandt seyn soll, kann bei der jetzigen Kenntnifs dieses Gegenstandes keinen Beifall mehr finden.

Dafs die Erscheinungen der Cohäsion im Allgemeinen zur *Attraction* gehören, kann nicht bezweifelt werden, und es würde sehr unphilosophisch argumentirt seyn, wenn man annehmen wollte, die Stärke des Zusammenhanges der starren Körper sey etwas diesen eigenthümlich Zukommendes, und aufser Verbindung mit den übrigen Naturgesetzen Stehendes. Vielmehr beobachten wir, dafs die Cohäsion der nämlichen Körper bald stärker bald schwächer ist, und dafs sie namentlich bei den schmelzbaren, z. B. den Metallen, von dem schwächsten Bestreben nach *Annäherung* ihrer Theile gegen einander in der Dampfform zur *Adhäsion* im Zustande der tropfbaren Flüssigkeit, und nach dem Erstarren zur schwer überwindlichen *Festigkeit* übergeht, wonach also die Cohäsion zur allgemeinen Naturkraft der Anziehung zu rechnen ist. NEWTON, welcher das Attractionsgesetz auffand, und vielfach anwandte, hat sich auf verschiedene Weise über die eigentliche Ursache der Cohäsion geäufsert, ohne jedoch auf diese Resultate der blofsen Speculation grofsen Werth zu legen. Den Druck eines *Aethers*, welcher zu seiner Zeit sehr allgemein als existirend und wirkend angenommen wurde, und auf welchen auch er die Phänomene der Schwere und Gravitation zurückzuführen mit unter sich nicht abgeneigt zeigte [4], scheint er nicht als Ursache der Cohäsion angesehen zu haben. Dagegen äufserte er die Hypothese, es möchten wohl die kleinsten Theilchen der Körper, durch die stärkste Anziehung gebunden, gröfsere Körper von geringerem Zusammenhange bilden, diese aber wie-

---

1 Vollständiger und fasslicher Unterricht in der Naturlehre II. 99.
2 G. IV. 15.
3 G. III. 48.
4 S. *Anziehung* p. 324.

derum gröfsere von noch schwächerem Zusammenhange u. s. w. bis die Reihe mit den gröberen Theilen aufhöre, von denen die chemischen Operationen und die Farben abhingen, und deren Verbindungen sinnlich wahrnehmbare Körper bildeten. Von dem Grade der Trennung in solche feinere oder gröbere Theilchen könnte dann der Zustand der Flüchtigkeit und Feuerbeständigkeit, der Flüssigkeit und Festigkeit abhängen [1]. Eine ähnliche beiläufige Aeufserung KANT's [2], dafs die Anziehung welche man zur Erklärung des Zusammenhanges der Materie annähme, vielleicht nur scheinbar sey, und die Meinung viel für sich habe, dafs die Zusammendrückung eines überall verbreiteten Aethers Ursache dieser Phänomene sey, ist zu wenig sagend, zu schwach begründet und in zu losem Zusammenhange mit der Theorie dieses berühmten Philosophen, als dafs sie ernste Beachtung verdiente.

KANT hat bekanntlich Anziehung und Abstofsung (*Ziehkraft* und *Dehnkraft*) als Urkräfte oder Grundkräfte aufgestellt, welche der Materie zu ihrer Existenz nothwendig zukommen sollen, und seine Anhänger wollen hieraus, wie schon früher GODWIN KNIGHT [3], die verschiedenen Naturerscheinungen erklären, so dafs also auch die Cohäsion in nichts anderm, als in einem *Uebergewichte der Ziehkraft* bestehen würde. Einestheils aber ist die Annahme dieser Kräfte als Grund- oder Urkräfte eine blofse Hypothese, anderntheils zeigt eine gründliche Prüfung bald, dafs zwar die *Anziehung* als allgemein der Materie zukommend sich überall in der Erfahrung darbietet [4], dafs aber in specieller Beziehung auf die *Cohäsion* eben die Hauptfrage hierdurch gar nicht beantwortet wird, nämlich warum sich diese gegenseitige Anziehung der Bestandtheile eines Körpers bei den verschiedenen Substanzen und unter verschiedenen Umständen auf so *ungleiche Weise* und in sehr *abweichender Stärke* zeigt.

Indem es ausgemacht ist, dafs alle Materie allgemeine Anziehung äufsert, so gewährt es den einzigen Anhaltpunct bei

---

1 Optice ed. Clarkii. Lond. 1706 qu. 23. p. 337 ss.
2 Metaph. Anfangsgr. der Naturw. Leip. 1800. p. 125.
3 S. *Abstofsung* p. 122. Vergl. *Materie*.
4 S. *Anziehung*.

diesen Betrachtungen, wenn man untersucht, ob sich die Erscheinungen der Cohäsion auf diese allgemeine Naturkraft zurückführen lassen, und in welchem Verhältnisse sie zu derselben stehen. Man kann diese allgemeine Ansicht der Sache zu gröſserer Deutlichkeit noch näher bestimmen, wenn man die Frage sogleich innerhalb derjenigen Grenzen hält, in welche eingeschlossen sie meistens betrachtet wurde, nämlich ob die Erscheinungen der Cohäsion sich auf die von Newton aufgefundene, *den Massen directe und den Quadraten der Abstände umgekehrt proportionale Anziehung* zurückführen lassen, oder ob es einer anders modificirten, wo nicht ganz eigenthümlichen Kraft zu ihrer Erklärung bedarf. In dieser Hinsicht stehen die Meinungen zweier groſsen Geometer einander entgegen, nämlich Newton's, welcher anzunehmen geneigt war, daſs die Anziehung der Cohäsion in einem höheren umgekehrten Verhältnisse des Abstandes wirke, und La Place's, welcher meint, daſs auch diese sich auf das umgekehrte quadratische zurückführen lasse [1].

Gegen die letztere Meinung, so sehr man übrigens die allgemeinen Naturgesetze zu vereinfachen und auf eine geringe Anzahl zurückzubringen suchen muſs, läſst sich mit Grunde einwenden, einestheils daſs diejenige Anziehung, wodurch wägbare Körper gegen einander und gegen die Erde zu fallen sollicitirt werden, jedem einzelnen materiellen Theilchen auf gleiche Weise zukommen, und daher den Massen direct proportional ist, daſs dagegen die Anziehung der Cohäsion bei verschiedenen Körpern verschieden, z. B. anders beim Kupfer als beim Blei, beim Zink, beim Silber u. s. w. gefunden wird; anderntheils aber, daſs die Adhäsion flüssiger Körper an feste und die Cohäsion der lezteren bedeutend stärker sind, als die Gravitation und Schwere, daſs sie neben und zugleich mit der lezteren bestehen, und mit der Trennung der Theile in der Regel gröſstentheils oder gänzlich aufhören. Rücksichtlich auf das Erstere müsste man also entweder annehmen, daſs die Bestandtheile des einen Körpers mehr als die eines andern von der Kraft der Anziehung afficirt würden, was aber mit ihrer Allgemeinheit und der Gleichartigkeit der Gravitation nicht

---

1 Vergl. *Anziehung*.

wohl vereinbar wäre, oder dafs eine dieser Anziehung entgegenwirkende Kraft bei einigen mehr, bei andern weniger die Wirkung derselben vermindern. Was aber Newton vermochte, die *Flächenanziehung*, oder die Anziehung in der Berührung von der allgemeinen, nach ihm benannten, Attraction zu unterscheiden, und ihr eine in einem stärkeren Verhältnisse der Annäherung als dem quadratischen wachsende Kraft zum Grunde zu legen, ist insbesondere der Umstand, dafs getrennte Theile des nämlichen Körpers auch wenn sie wieder mit einander in Berührung gebracht werden, dennoch gar keine oder nur eine geringe Anziehung gegen einander zeigen. Es läfst sich zwar mit genau flach geschliffenen Platten von Marmor, Glas, Metall u. dgl. (den sogenannten *Cohäsionsplatten*) zeigen, dafs sie auch ohne Bindemittel bei sehr genauer Berührung einen bedeutenden Grad des Zusammenhängens zeigen; eigentlich aber ist dieses nur *Adhäsion*, und die Stärke des Zusammenhaltens steht derjenigen, welche diese Substanzen im ungetrennten Zustande zeigen, oder der eigentlichen *Cohäsion*, sehr weit nach. Am beweisendsten in dieser Hinsicht ist der Versuch, wenn man zwei Bleicylinder mit ihren glatt geschabten Flächen fest an einander drückt, in welchem Falle indefs das weiche, und somit nachgebende, Metall eine innige Berührung mehrerer Puncte, eine ganz eigentliche Verbindung der sich berührenden Theile gestattet, und dann einen bedeutenden Grad des Zusammenhanges zeigt [1]. Hieraus, eben wie aus den Erscheinungen der Adhäsion und Capillarität, ergiebt sich also, dafs die Wirksamkeit der hierbei thätigen Kraft sich nur in unmefsbar kleine Entfernung erstrecken könne, in der wirklichen Berührung aber weit stärker sey, als die sich zugleich stets äufsernde, den Massen directe und dem Quadrate des Abstandes umgekehrt proportionale Anziehung.

Indefs liegen diese Beweise gegen die Gleichheit der Flächenanziehung und der allgemeinen Attraction viel zu nahe, als dafs die scharfsinnigen Physiker, und unter ihnen namentlich La Place, welche dennoch beide ihrem Wesen nach für identisch zu halten geneigt sind, sie sollten übersehen haben. Nach

---

1 S. *Adhäsion* p. 173.

diesen lassen sich nämlich die Erscheinungen der Cohäsion allerdings auf dafs Newtonsche Attractionsgesetz zurückführen, wenn man nur annimt, dafs die constituirenden Bestandtheil der Körper einander nahe genug gebracht werden, um in ihre gegenseitige Attractionssphäre zu kommen, welches nur in unmittelbarer oder sehr nahe unmittelbahrer Berührung geschehen kann, da die Durchmesser aller Körperelemente verschwindend klein sind, folglich eine so genannte nahe Berührung noch immer einen Abstand von vielen Halbmessern derselben beträgt [1]. Diesen allerdings schweren Satz erläutert Robison [2] in besonderer Beziehung auf die Cohäsion und ihre Vergleichung mit der Gravitation durch ein Beispiel. Angenommen die ausserordentlich starke Anziehung eines Körpers erstreckte sich nur auf eine solche Entfernung von demselben, seinen Durchmesser als Einheit angenommen, dafs sie bei der Erde in einem Abstande von einem Fufse schon verschwindend wäre, und man hätte eine Menge Kugeln, jede von 1 F. Durchmesser in unmittelbarer Berührung neben einander liegend, höbe von denselben eine in die Höhe bis auf einen Fufs Abstand von der Erdoberfläche, so würde diese schon aufhören gegen die Erde zu gravitiren, zugleich aber würde eine folgende von ihr mit gröfster Kraft angezogen werden, von dieser wieder eine andere und sofort, wobei man *dem Gewichte nach* stets nur eine einzige zu tragen hätte, obgleich zur Trennung der an einander hängenden Kugeln eine sehr grofse Kraft erforderlich wäre.

Viele Gelehrte haben die schwierige Frage, ob zur Erklärung der Cohäsion eine eigenthümliche, in höheren umgekehrten Verhältnissen, als dem quadratischen, zunehmende sogenannte Flächenkraft anzunehmen sey, oder auch diese, eben wie die Adhäsion, auf die Newtousche Attraction zurückgeführt werden könne, mit vielem Scharfsinn und gründlich geprüft, von welchen Bemühungen die wesentlichsten hier erwährt werden mögen. Newton [3] zuvörderst bewies durch

---

1 Vergl. *Anziehung*. p. 341.

2 Mech. Phil. I. 233.

3 Princ. I. sect. XII. prop. LXXI. theor. XXI. ss. Der Beweis des Satzes findet sich ausführlich in der Ausgabe der Principien von Tessanek. T. I. Pragae 1780 p. 268. Vergl. G. G Schmidt. in Münch. Denksch. 1808. p. 279.

eine Reihe von Schlüssen, daſs ein Punct auſserhalb einer Kugelfläche, welcher gegen alle Puncte derselben gravitirt, von dieser nach dem Mittelpuncte mit einer dem Quadrate des Abstandes von diesem umgekehrt proportionalen Kraft angezogen werde, und indem dieses für alle sehr dünnen Kugelschichten, mithin auch für die ganze Kugel gilt, so läſst sich annehmen, daſs die gesammte Anziehung im Centro derselben vereinigt sey, welches daher auch der *Mittelpunct der Anziehung* genannt wird. Wenn daher von zwei gegebenen Puncten der eine sich in meſsbarem Abstande, der andre aber in der Berührung der Kugeloberfläche befindet, so wird das angegebene Verhältniſs der Anziehungen bei beiden stets ein endliches bleiben; wogegen aber Schmidt [1] erinnert, daſs der Satz bloſs für den Fall strenge bewiesen ist, wenn die Entfernungen der Puncte gegen die Halbmesser der Kugeln als unendlich groſs angenommen werden. Inzwischen folgerte Newton [2] hieraus daſs die Flächenanziehung, wodurch die Cohäsion bewirkt werde, im umgekehrten höheren Verhältnisse, etwa dem kubischen oder biquadratischen zunehmen müsse, ein Satz, welchen späterhin auch Keil [3] vertheidigte, indem er annahm, man könne für die Entfernung $= x$ das Gesetz der Cohäsion durch die Formel $\frac{A}{x^2} + \frac{B}{x^3}$ oder $\frac{A}{x^2} + \frac{B}{x^m}$ ausdrücken. Während man sich im Allgemeinen mit dieser Vorstellung begnügte, oder vielmehr die ganze Frage lange Zeit auf sich beruhen lieſs und die anderweitigen verschiedenen, zur Anziehung im Allgemeinen gehörigen Erscheinungen weiter untersuchte, veranlaſsten einige nicht erschöpfende Bemerkungen von Murhard [4] eine nähere Betrachtung der Frage, ob die Cohäsion aus dem Newtonschen Attractionsgesetze erklärt werden könne, durch Benzenberg [5], indem er zeigte, daſs wir die Gröſse der

---

1 a. a. O. p. 284.

2 Princ. Sec. XIII. prop. 85 — 87.

3 Introductio ad veram Physicam et veram Astronomiam Lugd. Bat. 1725. p. 626.

4 Gren N. J. IV. 83.

5 G. XVI. 76.

einfachen Bestandtheile der Körper zwar nicht kennen, aber doch so viel durch Erfahrung sicher wissen, dafs die meisten derselben weit kleiner sind, als unser Vorstellungsvermögen zu fassen vermag [1]. Obgleich dann die Anziehung dieser materiellen Puncte oder der aus ihnen zusammengesetzten Körper, selbst in sehr kleinen, aber mefsbaren, Entfernungen kaum merklich ist, so wird sie doch durch stets gröfsere Annäherung im quadratischen Verhältnisse wachsend zuletzt ins Unendliche zunehmen, und jede mechanische Gewalt weit hinter sich lassen müssen [2], so dafs es hiernach also zur Erklärung der Cohäsion keiner besonderen Flächenkraft bedürfe.

Mit noch mehrerem Grunde machte ferner J. T. Mayer [3] den gegründeten Einwurf gegen eine *eigenthümliche Flächenkraft* oder Cohäsionskraft, dafs noch niemand durch irgend einen Versuch eine solche im umgekehrten kubischen oder höheren Verhältnisse des Abstandes wirkende Kraft nachgewiesen habe, auch nicht wohl begreiflich sey, wie damit die bekannte Kraft der Anziehung z. B. der Erde gegen den Mond, als im Mittelpuncte dieser Körper vereinigt, verträglich sey. Dagegen sprach Mayer ganz deutlich seine Meinung dahin aus, dafs die Erscheinungen der Cohäsion sich füglich auf das allgemeine Gesetz der Anziehung im umgekehrten quadratischen Verhältnisse des Abstandes zurückbringen lassen, und zeigte die Richtigkeit dieser Behauptung durch den Calcül. In den bekannten Abhandlungen über die Capillaranziehung [4] äufserte auch der grofse Geometer de la Place, dafs die Erscheinungen der Cohäsion sich füglich auf das allgemeine Gesetz der Attraction zurückführen lasse, wenn man die Durchmesser der kleinsten Bestandtheile der Körper gegen ihre Entfernung von einander bei ihrer nur scheinbaren, aber nicht wirklichen unmittelbaren Berührung in den festen Körpern unendlich klein annähme.

Sowohl die Newtonsche Behauptung, als auch die entgegen-

---

1 Vergl. *Theilbarkeit.*
2 Vergl. Emmet in Ann. of Phil. XVI. 180 ff.
3 Comm. Soc. Gott. XVI. 52.
4 S. *Capillarität.*

gesetzte von La Place werden gründlich geprüft durch G. G. Schmidt [1], und bei der Wichtigkeit des Gegenstandes möge folgende kurze Darstellung der hauptsächlichsten Momente zur leichteren Uebersicht des Ganzen dienen. Newton's Behauptung sagt, dafs man sich die Summe der Anziehungen aller anziehenden Theile eines Körpers, z. B. einer Kugel, gegen einen aufserhalb derselben gelegenen Punct im Mittelpuncte der anziehenden Kugel vereinigt denken könne, und indem die Summe aller Anziehungen der Masse der Kugel directe und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional angenommen wird, so folgt, dafs die Anziehung einer Kugel vom Halbmesser $= r$ gegen einen Punct, welcher sich in der Entfernung $= a$ von ihrer Oberfläche befindet $= \frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{(r + a)^2}$, gegen einen Punct in einer unmittelbaren Berührung mit ihrer Oberfläche aber $= \frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{r^2}$ seyn mufs. Beide verhalten sich also wie $\frac{1}{(r + a)^2} : \frac{1}{r^2}$. Der Beweis ist aber blofs in der Voraussezzung geführt, dafs die Anziehung eines verschwindenden Kugelabschnittes gegen einen aufserhalb liegenden Punct im Verhältnifs zur Anziehung eines Segments von endlicher Gröfse unbedingt verschwinde, welches keineswegs als ausgemacht anzunehmen ist, wie folgender Satz, als der einfachste unter den in der Abhandlung erörterten, deutlich zeigt. Es bezeichnen AB einen unendlich schmalen Cylinder von gegebener Länge, p einen Punct in der verlängerten Axe desselben. Die Entfernung des Punctes p sey $= 1$, ein Element des Cylinders $= e^2 dx$ und die veränderliche Entfernung des Punctes $p = 1 + x$, so ist nach Newton's Gravitationsgesetze die Anziehung des Elementes gegen den Punct $p = \frac{e^2 dx}{(1 + x)^2}$, und die Summe der Anziehungen aller verschwindenden Elemente, oder die Anziehung des ganzen Cylinders $=$

Fig. 42.

$$\int \frac{e^2 dx}{(1 + x)^2} = - e^2 (1 + x)^{-1} + C.$$ Es mufs aber das

1 Münch. Denksch. a. a. O.

Integral für $x = 0$ verschwinden, und so wird $C = \frac{e^2}{l}$, mithin das vollständige Integral $= \frac{e^2}{l} - \frac{e^2}{l+x} = \frac{e^2 x}{l(l+x)}$. Es ist aber $e^2 x$ die Masse des Cylinders, und wenn man die Entfernung seines Mittelpunctes vom gezogenen Puncte $= z$ setzt, so ist die Stärke der Attraction $= \frac{e^2 x}{z^2}$ mithin $\frac{e^2 x}{z^2} = \frac{e^2 x}{l(l+x)}$ und hieraus $z = \sqrt{l(l+x)}$. Setzt man l gegen x verschwindend, so wird $z = 0$ und $\frac{e^2 x}{z^2} = \frac{e^2 x}{0} = \infty$ oder in Worten ausgedrückt: ein schmaler Cylinder zieht einen seine Grundfläche unmittelbar berührenden Punct mit einer unendlich stärkern Kraft als jeden Punct, der sich in einer endlichen Entfernung in seiner Axe befindet. Wenn man auf gleiche Weise in der obigen, nach dem Newtonschen Attractionsgesetze gebildeten Formel $= \frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{(a+r)^2}$ zuerst r gegen a verschwindend und a veränderlich setzt, so erhält man $\frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{a^2}$ und für $a = 0$ oder in unmittelbarer Berührung die Kraft der Anziehung unendlich; welches der Satz des Laplace ist. Aus allen, für verschiedene Körper nach Art des mitgetheilten geführten Beweisen folgert Schmidt:[1] „*dafs die Anziehung zweier sich unmittelbar berührender Elemente, gegen eine jede Anziehung eines Körpers, welcher sich in einer endlichen Entfernung von dem gezogenen Elemente befindet, unendlich grofs sey, und dafs daher die Erscheinungen der Cohäsion, als Wirkungen einer Flächenkraft, unabhängig von den Massenanziehungen der Körper existiren können, obgleich beide sich auf eine und dieselbe Grundkraft der Materie, welche in endlichen sowohl als in unendlich kleinen und unendlich grofsen Entfernungen nach dem nämlichen Gesetze wirkt, zurückführen lassen.*“ Indem dieser wichtige Satz auf solche Weise präcis ausgedrückt ist,

---

1 a. a. O. p. 296.

wird zugleich einem sonst leicht möglichen Mifsverständnisse vorgebeugt, welches daraus entstehen könnte, wenn man sich dächte, es müsse sich die Anziehung eines verschwindend kleinen Körpertheilchens zur Anziehung durch die Erde wie die Kuben der Durchmesser beider zu einander verhalten, und könne daher bei ersterem nie anders als unendlich klein im Verhältnifs gegen die Schwere seyn. Man mufs aber vielmehr die Sache so auffassen, dafs die Anziehung jedes einzelnen Elementes gegen jeden Punct in der Berührung unendlich grofs ist, im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung abnimmt, und dafs somit ein jeder Körper im Wirkungskreise der Schwere, welche als eine im Mittelpuncte der Erde vereinigte Gesammtwirkung aller ihrer Theile angesehen werden darf, sich schon in einer verhältnifsmäfsig unendlichen Entfernung von jedem einzelnen anziehenden Körperelemente, den Durchmesser desselben als Einheit genommen, befinde, und der Körper daher nur durch die unzählbare Menge der ihn in ungleichen Entfernungen sollicitirenden einzelnen Theile der Erde schwer seyn könne. Man könnte sagen, dafs schon Newton [1] diese Meinung angedeutet habe, wenn er von der unendlich grofser Anziehung der kleinsten Körperelemente redet, wodurch gröfsere Körper von stets abnehmender Anziehung entständen.

Es ergiebt sich also aus dem hier Mitgetheilten, dafs die Erscheinungen der Cohäsion sich allerdings auf das Newtonsche Attractionsgesetz zurückführen lassen, und dafs diese Hypothese auch durch den Calcül unterstützt werden kann. Noch weiter, als diese Möglichkeit zu demonstriren, geht J. B. Emmet [2], welcher die bekannten Erfahrungen zum Grunde legt, dafs 1. ebene Flächen an einander hängen, 2. Flüssigkeiten eine ihre Schwere überwindende Adhäsion an feste Körper zeigen; 3. sich berührende Tropfen in einander fliefsen, und 4. Gasarten ihrem spec. Gew. entgegen sich mischen, wonach also das Bestreben ihrer Partikeln hierzu sich auf einen weit über ihren Durchmesser hinausreichenden Raum erstreckt. Hieraus sucht Emmet die Unmöglichkeit einer im umgekehrten kubischen

---

1 a. a. O.

2 Ann. of Ph. N. S. III. 425.

oder biquadratischen Verhältnisse des Abstandes wirkenden Kraft zu beweisen. Es sey eine verschwindende Pyramide C A D, ein Element in A und zwei parallele Flächen K L, G H von gleicher, verschwindend kleiner Dicke; so ist die Fläche K L : G H = A L²: A H². Die Kraft der Anziehung eines Theilchens in L verhält sich zu der Anziehung eines Theilchens in H wie A H³: A L³. Es folgt also aus der Verbindung dieser beiden Gleichungen, daſs die Kraft der Anziehung von K L zu der von G H = A H: A L. Fället man die Perpendikel A N, L J, H F, D B, und nimmt L J, H F, D B im Verhältniſs der Stärke der Anziehung, so ist die Linie B F J M eine Hyperbel, und die Fläche B J L D giebt die Stärke der Anziehung des Pyramidenstückes C K L D; die Stärke der Anziehung der ganzen Pyramide auf den Punct A ist aber unendlich, weil die Fläche B M N A D unendlich ist. Hiernach müſste also die Anziehung gegen einen Punct in endlicher Entfernung sich zur Anziehung eines Punctes in der Berührung wie eine endliche Kraft zu einer unendlichen verhalten; und da eine unendliche Anziehung in der Natur nicht existirt, so läſst sich eine im umgekehrten kubischen Verhältnisse des Abstandes wirkende Kraft nicht annehmen. Es ist aber eben das Bestreben der Geometer, zu beweisen, daſs die Anziehung in der wirklichen Berührung unendlich werden muſste, wenn es gleich in der Natur weder eine wirkliche Berührung der Elementartheilchen (indem diese absolute Dichtigkeit erzeugen würde) noch auch eine unendliche Anziehung giebt.

Fig. 43.

Indeſs giebt es zugleich auch nicht unbedeutende Physiker, welche auf das bestimmteste, und unterstützt durch den Calcül darzuthun gesucht haben, daſs zur Erklärung der Cohäsion eine den Quadraten des Abstandes umgekehrt proportionale Anziehung der Körperelemente unzureichend sey, und man daher zu einer in höheren Potenzen wachsenden seine Zuflucht nehmen müsse. Auſser denen, welche im Artikel: *Anziehung* schon erwähnt sind, gehört hierhin auch Belli [1], welcher auſser dem allgemeinen Gesetze der *Massenanziehung*

---

1 Brugnatelli G. VII. 169.

noch ein besonderes der *moleculären Anziehung* annehmen zu müssen glaubt, und namentlich in Beziehung auf die Cohäsion durch den Calcül zu beweisen sucht, dafs weder das Gesetz einer im umgekehrten quadratischen, noch kubischen, noch auch nach biquadratischem Verhältnisse der Entfernung wachsenden Kraft zur Erklärung der Phänomene passe, sondern dafs eine noch höhere n^te^ Potenz anzunehmen sey, welche er indefs unbestimmt gelassen hat. Eine sehr gehaltreiche Untersuchung über die Anziehung der Fläche hat Mollweide[1] geliefert, und entscheidet hiernach für eine im umgekehrten kubischen Verhältnisse des Abstandes zunehmende Kraft als Ursache der Cohäsion. Eine gleiche Behauptung hat noch neuerdings J. F. Fries[2] aufgestellt, und allerdings mit triftigen Gründen durch den Calcül unterstützt.

Es liefse sich die Reihe der auf diese Weise einander entgegen stehenden Autoritäten noch vermehren, wenn man hoffen dürfte, hierdurch zu einem endlichen genügenden Resultate zu gelangen. Auffallen mufs es aber, dafs diefser Gegenstand so vielfach mit so grofsem Scharfsinn und einem so bedeutenden Aufwande des höheren Calcüls untersucht ist, ohne bis jetzt zur vollständigen Entscheidung gebracht zu seyn. Eine gründliche Revision aller darüber vorhandenen Berechnungen würde in kaum zu überwindende Schwierigkeiten verwickeln, und hier auf allen Fall nicht am rechten Orte seyn. Betrachtet man aber die Sache im Allgemeinen, so scheint als Resultat der verschiedenen Versuche stets das Bestreben hervorzugehen, für die Anziehung in der Berührung eine unendliche Wirkung aufzufinden, welche indefs in der Erfahrung selbst nirgend gegeben wird, und auch nicht verlangt werden kann. Dabei kommt man aufserdem stets auf eine *unmittelbare* Berührung der angezogenen Theile zurück, welche aus später zu würdigenden Gründen gleichfalls nicht statt findet. Entfernt man sich indefs von der Voraussetzung einer unmittelbaren Berührung, so müfste die endliche Gröfse der Entfernung zur Begründung genauer

---

1 Mon. Cor. XXVII. 26. Vergl. XXVI. 602.

2 Die mathematische Naturphilosophie, nach philos. Methode bearbeitet. Heidelb. 1822. p. 476.

Resultate scharf bestimmt seyn, und dennoch sind die Abstände, worin die genäherten Körper eine Flächenanziehung äufsern, so verschwindend klein, dafs eine genaue Messung derselben unmöglich wird, mithin giebt die Erfahrung diejenigen Thatsachen gar nicht an, auf welche man fufsen müfste, um ein genaues Gesetz zu erhalten. Wollte man annehmen, dafs durch die Gröfse der Ausdehnung, welche ein gegebener Körper durch die Wärme erleidet, zugleich der wachsende Abstand seiner Bestandtheile gegeben würde, dann die in höheren Temperaturen abnehmende Cohäsion messen, um hieraus das Gesetz der mit dem Abstande der Bestandtheile von einander abnehmenden Anziehung aufzufinden, so zeigt die Erfahrung, wie abhängig von anderweitigen Bedingungen, und somit unsicher, die Resultate solcher Versuche sind, und dafs daher wenig Hoffnung vorhanden ist, auf diesem Wege die Frage zu beantworten. Man kann daher mit Grunde annehmen, dafs das Gesetz der Cohäsion deswegen noch nicht völlig sicher aufgefunden ist, weil die Erscheinungen selbst nicht in derjenigen Ausdehnung und auf eine gleiche Weise messbar gegeben sind als diejenigen, worauf Newton sein Attractionsgesetz gründete. Hierzu kommt denn ferner noch der Umstand, dafs es sich eigentlich darum handelt, Gesetze und Erscheinungen zu erforschen, welche sich auf die unmefsbar kleinen Bestandtheile der Körper beziehen, deren Gröfse und eigentliche Beschaffenheit uns gleichfalls bis jetzt noch völlig unbekannt sind.

Die Schwierigkeiten einer genügenden Erklärung dieser Phänomene wachsen endlich durch folgende sehr nahe liegende Betrachtungen. Angenommen es existirte eine in irgend einem Verhältnisse des Abstandes abnehmende anziehende Kraft, als Ursache der Cohäsion, wie geht es zu, dafs nicht alle zu unserm Planeten gehörigen Körperelemente endlich mit einander zur unmittelbaren Berührung kommen, und hiernach unendlich fest cohäriren? Denn wie auch immer das Verhältnifs des Abstandes seyn mag, so wird allezeit, wenn x die Stärke der Cohäsion, k die sie erzeugende Kraft und a den Abstand bezeichnet, nach der Formel $x = \frac{k}{a^n}$ für ein verschwindendes a oder die unmittelbare Berührung $x = \infty$ werden. Man kann

nicht einwenden, dafs dieses auch bei den Planeten als Folge ihrer Anziehung statt finden müfste, denn bei diesen ist eine Annäherung durch ihre stete Bewegung unmöglich. Die Anhänger der *Kantischen Dynamik* glaubten die Sache durch den Conflict der beiden, einander entgegenwirkenden Kräfte, nämlich der *Dehnkraft* und *Ziehkraft* erklären zu können, welche bei verschiedenen Körpern und unter den modificirenden Bedingungen verschieden die ungleichen Aeufserungen der Cohäsion bewirken sollten. Allein einestheils ist die Annahme einer Dehnkraft, als absolut zurückstofsender Potenz blofs hypothetisch[1], anderntheils wird durch die Annahme derselben die Schwierigkeit keineswegs beseitigt. Insofern nämlich *Dehnkraft* und *Ziehkraft* einander entgegengesetzt sind, müssen sie einander um gleiche Gröfsen aufheben, und es wird daher nur *eine Kraft*, als die Differenz beider, übrig bleiben, welche, einem der angegebenen Gesetze folgend, allezeit auf die nämlichen Resultate führt. Wollte man in den blofs hypothetischen Voraussetzungen noch weiter gehen, so liefse sich annehmen, dafs zwei Kräfte, eine anziehende und eine abstofsende, in ungleichen Verhältnissen des Abstandes wirksam wären. Wir wollen Beispielsweise einmal voraussetzen, dafs die Cohäsion k', durch eine ursprüngliche Ziehkraft = k und eine ursprüngliche Dehnkraft = d erzeugt würde, wovon die erstere im umgekehrten quadratischen, die zweite im umgekehrten kubischen Verhältnisse des Abstandes = a wirksam seyn möge: so würde $k' = \frac{k}{a^2} - \frac{d}{a^3} = \frac{k\,a - d}{a^3}$ für die Berührung negativ werden, oder aber es fände in unmittelbarer Berührung gar keine Anziehung statt; bei der Voraussetzung aber, dafs k beträchtlich gröfser wäre als d, würde sie in geringer Entfernung ihr Maximum erreichen, bei gröfserer aber die Abstofsung als unmerklich vernachlässigt werden können, was sich mit den Beobachtungen wohl vereinigen liefse. Minder wäre dieses der Fall, wenn man dafs Verhältnifs der Wirksamkeit beider Kräf-

1 S. *Abstofsung*.

te umgekehrt annehmen wollte, in welchem Falle $k' = \frac{k - d\,a}{a^3}$ in der Berührung unendlich werden müfste [1].

So wenig befriedigend es auch ist, sich im Kreise dieser bloſsen Hypothesen umherzutreiben, so muſs doch noch diejenige erwähnt werden, welche den meisten Beifall findet und auch wohl ohne Zweifel verdient. Viele hegen nämlich die Meinung, namentlich LA PLACE [2], BIOT [3] u. a., daſs die Wärme das der Anziehung entgegenwirkende Princip sey, welche, als solches, verhindere, daſs die Cohäsion nie unendlich stark werden könne. Diese Ansicht findet schon darin eine vorzügliche Unterstützung, daſs die Ausdehnung fast aller Körper durch Wärme und ihre Zusammenziehung durch Wegnahme derselben mit einer der Stärke der Cohäsion selbst nahe gleichen Kraft geschieht, so daſs also hier der Conflict zweier, einander mit nahe unendlicher Kraft entgegenwirkender Potenzen angetroffen würde. Man könnte hierbei zugleich annehmen, die Materialität der Wärme (des Wärmestoffes) vorausgesetzt, daſs dieselbe dem allgemeinen Gesetze der Anziehung folge, mit einigen Substanzen mehr, mit andern weniger verwandt sey und dadurch eine ungleiche Cohäsion bewirke [4], auch läſst es sich denken, daſs die ersten Antheile der Wärme zwar leicht, z. B. durch Anziehung anderer Körper gegen sie durch die verschiedenen Mittel des Erkaltens und selbst durch mechanische Zusammendrückung der Körper entfernt werden könnten, die letzten aber ihrer Wegschaffung ein unübersteigliches Hinderniſs wegen ihrer gröſseren Adhäsion entgegensetzten [5]. Wollte man ferner die Adhäsion der Wärme mit den Molecülen der

1 Die mir noch nicht vollständig bekannten Ansichten SEEBER's bei G. LXXVI. 229 ff. werden an einem andern Orte berücksichtigt werden. Vorläufig verdient es eine Anzeige, daſs auch dieser anziehende und abstoſsende Kräfte annimmt, deren Intensität nach der Entfernungen der Elementartheilchen der Körper veränderlich seyn, und aus deren Conflicte ein *stabiles Gleichgewicht* derselben hervorgehen soll.

2 Ann. de Chim. XXI. 22. Vergl. *Festigkeit.*

3 Traité. I. 5.

4 Emmett in Ann. of Phil. XVI. 351.

5 Vergl J. T. Mayer bei Gren *VII.* 218.

Körper wegen unmittelbarer Berührung beider als unendlich stark ansehen, so könnte keine *absolute Dichtigkeit* und somit keine *unendliche Cohäsion* statt finden, aufser beim absoluten Nullpuncte der Temperatur, indem in allen übrigen Fällen die wachsende Attraction mit der gleichfalls, und zwar in einem stärkern Verhältnisse wachsenden Repulsion der Wärme, deren abstofsende Kraft indefs erst bei sehr grofser Näherung der Molecülen anfangend zu denken wäre, ins Gleichgewicht kommen würde. Die ungleiche Stärke der Cohäsion verschiedener Körper müfste dann als Folge einer ungleichen Anziehung ihrer Molecülen, oder einer verschiedenen Affinität derselben zum Wärmestoffe angesehen werden, wenn man sie nicht mit La Place [1] für eine Folge der verschiedenen Form der Atome halten will, welche nach der Lage ihrer Axen nach der einen Seite stärker als nach der andern anziehen sollen. Auf allen Fall ist das ganze Problem in naher Uebereinstimmung mit den bekannten Erscheinungen der chemischen Verwandtschaft und der mechanischen Adhäsion, welche durch die Zwischenkunft anderer Substanzen geschwächt oder scheinbar aufgehoben werden.

Wenn gleich dieser Ansicht eine gewisse innere Consequenz nicht abzusprechen ist, so bleibt sie doch blofs Hypothese, und kann nie für etwas anders gehalten werden, auch stehen ihr manche Schwierigkeiten entgegen, insbesondere wenn man den der Wärme hiernach beigelegten Charakter einer Repulsion genau und bestimmt zu ergründen sucht [2]. Einige Einwürfe dagegen lassen sich indefs durch gewisse anderweitige Voraussetzungen ziemlich leicht beseitigen. Dahin gehört, was Avogrado auffallend findet, dafs die Atome einiger Körper, z. B. des Wassers im Eise, weiter von einander abstehen, und doch gröfsere Cohäsion zeigen. Er erklärt dieses indefs mit Wollaston und Ampère daraus, dafs die Elemente (molecules totales) des Wassers zwar weiter abstehen, die individuellen Eismolecüle (molecules partielles) aber einander näher seyn sollen [3]. Für weit weniger gezwungen, als

---

1 G. XXXIII. 134.

2 S. *Abstofsung*.

3 Brugnatelli G. Dec. II. I. 375.

diese Erklärung ist, darf man diejenige eines andern Phänomens ansehen, nämlich wie es zugehe, dafs nach der Zerreifsung eines Körpers die wieder genäherten Theile nur einen geringen Zusammenhang zeigen. Man mufs nämlich annehmen, dafs eben durch das Zerreisen die einzelnen Theile in eine der Wirkung der Anziehung minder günstige Lage kommen, und somit bei der Näherung der getrennten Theile nur wenige derselben wieder zu derjenigen nahen Berührung gebracht werden können, welche zur Aeufserung der Cohäsion erforderlich ist, indem nach Rumford [1] die einzelnen Elemente nicht *gleichzeitig*, sondern *nacheinander* über die Grenze ihrer Cohäsion hinausgerückt werden, und dadurch aus ihrer, der Attraction günstigen Lage kommen. Es würden ferner so genannte ganz ebene Platten im Verhältnifs zu der Nähe, in welche ihre einzelnen Theile zur Erzeugung der Cohäsion kommen müfsten, aus beträchtlichen Erhabenheiten und Vertiefungen bestehend gedacht werden, wie mikroskopische Beobachtungen dieses bestätigen. Endlich ist auch noch der Einflufs der Luft zu berücksichtigen, deren Elemente sogleich mit den getrennten Oberflächen zerrissener Körper in unmittelbare Berührung kommen, und die Wiedervereinigung derselben unmöglich machen. Werden aber die Körper flüssig, so können ihre Elemente in Folge ihrer leichten Beweglickeit eine solche Lage annehmen, vermöge welcher sie die stärste Anziehung gegen einander ausüben, und dann nach gröfserer, durch Entfernung der Wärme möglich gemachter, Annäherung Cohäsion zeigen.

Um das eigentliche Wesen und die Grundgesetze der Cohäsion aufzufinden, hat man in neueren Zeiten nur wenige Versuche angestellt, und dieses wahrscheinlich wohl deswegen, weil solche äufserst schwierig sind, und dennoch kein genügendes Endresultat weder versprechen noch gewähren. Aufser demjenigen, was hierüber schon unter den verwandten Artikeln *Abstofsung*, *Adhäsion* und *Anziehung* beigebracht ist, und noch unter *Materie* erwähnt werden wird, je nachdem es mehr oder minder unter die eine oder die andere von diesen Untersuchungen gehört, verdient noch folgendes als die

1 G. XIII. 389.

Sache erläuternd, beachtet zu werden. Dafs überhaupt zwischen den festen Körpern eine auf Cohäsion hindeutende Anziehung statt finde, welche sich bei den sogenannten *Cohäsionsplatten* auch ohne bindendes Zwischenmittel selbst im luftleeren Raume zeigt, ist schon unter dem Artikel *Adhäsion* [1] erwähnt. Nicht minder verdient bei diesen Untersuchungen dasjenige berücksichtigt zu werden, was Robison [2] aus den Erscheinungen folgert, welche zwei zur Erzeugung der Newtonschen Farbenringe auf einander gedrückte Glafscheiben darbieten, dafs sie nämlich zwar zusammenhängen, zugleich aber auch selbst im luftleeren Raume einen bedeutenden Druck erfordern, um in eine zur Erzeugung des schwarzen Flecks nöthige nahe Berührung zu kommen, woraus er schliefst, dafs in sehr geringen Entfernungen der Körper von einander ein *Wechsel von Anziehung und Abstofsung* anzunehmen sey. Huygens stellte auch den Versuch an, dafs er zwei sehr ebene Glasplatten nahm, die obere mit einer Handhabe versah, auf die untere einen Kreis von einem einfachen Seidencoconfaden legte, und die obere darauf drückte. Hierbei waren also beide erwiesen nicht in unmittelbarer Berührung, dennoch aber wirkte ihre Anziehung so stark, dafs die obere die untere aufhob. Legte er indefs über den Kreis des Coconfadens noch ein Kreuz von der nämlichen Substanz, so hörte die Anziehung so weit auf, dafs die untere nicht mehr aufgehoben werden konnte, Robison [3] will diese Versuche mit der gröfsten Sorgfalt wiederholt, und die hierbei wirksame Anziehung 14,5 mal so stark als die Schwere gefunden haben. Er bediente sich der in London von den besten Künstlern verfertigten Gläser zu Spiegelsextanten, und fand den kleinsten Durchmesser der hierzu gebrauchten, allezeit nicht runden, sondern platten Coconfäden = $\frac{1}{2400}$stel eines engl. Zolles, so dafs also bei einer doppelt so grofsen Entfernung, als diese Gröfse beträgt, die Anziehung der Cohäsion unmerklich wird. Reibt man die Gläser über einander, so werden kleine Partikelchen losgeschabt, welche hinreichen, die Adhäsion aufzuheben. Aeufsert sich

1 Th. I. p. 173.
2 Ebend. p. 122.
3 Syst. of Mech. Phil. I. 241.

indefs die Anziehung ebener Flächen noch in der angegebenen Entfernung, so kann man sich vorstellen, wie stark die Cohäsion bei noch gröfserer Näherung werden mufs, da nach Robison die Dicke einer dünnen Vergoldung nicht mehr als ein Vierzehnmilliontheil eines Zolles beträgt. Dafs indefs zwischen jener Entfernung und dieser nochmals ein oder vielleicht mehrere *Wechsel der Abstofsung und Anziehung* mindestens bei den verschiedenen Substanzen liegen müsse, liefse sich daraus folgern, dafs Glasplatten mehr als 1000 ℔ Druck auf eine Fläche von einem Zoll bedürfen, um so weit genähert zu werden, dafs sie einen schwarzen Fleck bilden wobei sie einander auf $\frac{1}{178000}$stel eines engl. Zolles nahe kommen [1]. Robison setzt diese Erscheinungen auch damit in Verbindung, dafs feste Körper, ohngeachtet der Anziehung ihrer Theile als Ursache der Cohäsion, durch grofse Lasten beschwert, an Volumen vermindert werden, sich aber wieder ausdehnen, wenn die zusammendrückende Last weggenommen wird, wodurch sich also eine ausdehnende Kraft wirksam zeigt [2].

So schätzbar alle diese angeführten Bemühungen seyn mögen, und so wenig man es den Naturforschern verargen darf, wenn sie auf die wenigen bekannten Erfahrungen Hypothesen zur Erklärung dieser höchst dunkeln Naturerscheinungen und zur Auffindung ihrer Gesetze gründen, so zeigt doch eine Uebersicht des Ganzen, dafs genau genommen noch wenig aufgeklärt ist, und dafs wir noch weit davon entfernt sind, die eigentliche Ursache der Anziehung und ihrer verschiedenen Modificationen als Gravitation, Schwere, Adhäsion, Cohäsion und vielleicht auch der chemischen Verwandtschaft bereits aufgefunden zu haben.

---

1 Diese Gröfse, welche Newton aus seinen Versuchen zur Erzeugung der Farbenringe berechnete, wird durch die eben angestellten Betrachtungen schwankend, indem es danach überhaupt zweifelhaft ist, ob die Erzeugung des schwarzen Flecks eine unmittelbare oder so nahe Berührung erfordert, und diese wegen der nach Robison gefolgerten Abstofsung überhaupt möglich ist. Vergl. *Anwandlungen* und *Farbenringe*.

2 Vergl. Ebend. I. 383. ff.

II. Praktische Untersuchungen.

Wenn man von der eigentlichen Ursache der Cohäsion abstrahirt, und die Erscheinung als eine durch Erfahrung gegebene nimmt, so würde es, auch aus diesem Standpuncte die Sache betrachtet, interessant seyn, ein allgemeines Gesetz über die Stärke des Zusammenhanges der verschiedenen Körper aufzufinden, welches aber bis jetzt noch nicht gelungen ist. Ritter[1] stellte als solches auf, daſs die Cohäsion der Körper bei einer gegebenen Temperatur sich verhalte wie die Producte aus ihren Wärmecapacitäten in die Grade ihrer Schmelzpuncte, beides an dem nämlichen Thermometer gemessen, fand auch dasselbe für Gold, Silber und Kupfer sehr nahe zutreffend, für Eisen aber bedeutend abweichend. Wenn man aber berücksichtigt, wie schwer bestimmbar die Stärke der Cohäsion ist, noch weit mehr aber der Schmelzpunct der strengflüssigen Metalle, und daſs endlich dieses Gesetz überhaupt nur auf Metalle angewandt werden könnte, so ist begreiflich, warum man dasselbe nicht weiter geprüft hat. Auch der Dichtigkeit der Körper kann die Stärke der Cohäsion nicht proportional gesetzt werden, wie man aus theoretischen Gründen zu folgern geneigt seyn könnte. Man muſs diesemnach annehmen, daſs die Bestandtheile der Körper sich nicht bei allen in einer ihrer Dichtigkeit proportionalen Nähe zu einander befinden, sondern daſs die festen Körper gleichsam aus einzelnen vereinigten Bündeln bestehen, und daſs ihre Cohäsion nicht sowohl auf der Menge der beim mechanischen Zerrissenwerden in Conflict kommenden Molecülen, als vielmehr auf der Stärke des Zusammenhanges derselben in den einzelnen Bündeln beruhe, woraus man sich den Körper gebildet vorstellen kann[2].

Die Stärke der Cohäsion wird im Allgemeinen durch *Wärme* vermindert, und wenn die Temperatur einen bedeutenden Grad erreicht, wird sie beim Schmelzen und Verflüchtigen der Körper zuletzt ganz aufgehoben. Indeſs werden manche, namentlich Metalle, durch Kälte spröder und dadurch

---

1 G. IV. 1.

2 Vergl. Rumford bei G. XIII. 391.

weniger cohärent, z. B. Zink und Eisen. Die Ursache scheint in ihrem krystallinischen Gefüge zu liegen, vermöge dessen die Bestandtheile bei grösserer Zusammenziehung durch Kälte sich nicht gehörig neben einander lagern können, vielmehr in eine Art Spannung gerathen. Daher pflegen die Fuhrleute nach kalten Nächten gegen die eisernen Achsen der Wagen einigemale zu schlagen, um die Zusammenziehung derselben regelmäfsiger zu machen, und die Sprödigkeit zu vermindern [1]. Man hat ferner behauptet, alle *Mischungen* zeigten stärkere Cohäsion als die einfachen in der Mischung verbundener Körper [2]. Bei einigen Metallen findet sich dieses allerdings bestätigt, allein als allgemeine Regel kann der Satz nicht aufgestellt werden, indem in manchen Fällen die einfachen Metalle, in andern aber ihre Verbindungen eine gröfsere Stärke der Cohäsion zeigen, wie aus Achard's [3], Musschenbroek's [4] u. a. Versuchen folgt. Bei *Hölzern* geben weder die äufsern Theile der Baumstämme, noch auch die innersten diejenigen Theile, welche die stärkste Cohäsion zeigen, sondern diese liegen in der Mitte zwischen beiden; auch sollen in Europa diejenigen Theile die gröfste Stärke der Cohäsion zeigen, welche am Baume selbst nach S. O. gerichtet waren. Es ist dieses weit leichter glaublich, als dafs Steine dann die gröfste Tragkraft haben sollen, wenn sie in derjenigen Lage nach den Weltgegenden gerichtet sind, welche sie früher in ihrer Lagerstätte hatten [5].

1. Absolute Festigkeit der Körper

Man bezeichnet mit absoluter Festigkeit der Körper diejenige Stärke der Cohäsion, mit welcher sie einer Kraft Widerstand leisten, die sie in der Richtung ihrer Axe zu zerreisen strebt. Versuche zur Auffindung derselben erfordern grofse Apparate, sind aber übrigens nicht schwierig. Man verfertigt nämlich Körper, welche in einer gewissen gleichen Länge

---

1 Schweigg. J. XXXIII. 484.
2 Robison System of Mech. Phil. I. 399.
3 Traité sur les Propriétés des alliages metalliques, à Berlin 1788. 4.
4 Introd. I. 419.
5 Young Lectures. I. 152.

sämmtlich gleich dick sind, an beiden Enden aber etwas dicker, befestigt sie selbst oben auf eine geeignete Weise an einen starken Träger und hängt an ihr unteres Ende eine Waagschale, welche man so lange mit Gewichten beschwert, bis sie zerreissen, wobei dieses Gewicht als das Maſs ihrer Stärke angesehen wird. Weil aber das Auflegen der vielen Gewichtstücke mühsam ist und auch eine sehr groſse Menge derselben erfordert, so bedient man sich lieber der Schnellwaage von derjenigen Einrichtung, wie diese durch Eytelwein zur Prüfung der Festigkeit verschiedener Holzarten gebraucht wurde, und aus der bloſsen Zeichnung leicht erkannt werden kann. Die zum Zerreiſsen bestimmten, an ihren Enden etwas dickeren, Holzstücke a nämlich wurden durch zwei aufgeschobene Halter α, α festgehalten, diese durch die Zangen der Ketten gepackt, und dann gaben die Zahlen des Waagebalkens die Pfunde an, wobei sie in der Mitte, als ihrem schwächsten Theile, zerrissen wurden. Fig. 44.

Es giebt eine Menge Versuche, welche in den älteren und neueren, bis auf die neuesten Zeiten angestellt sind, um die absolute Festigkeit der verschiedenen Körper aufzufinden. Unter die vorzüglichern gehören die von de Lanis [1], nach welchem die Metalle in folgender Ordnung abnehmende Festigkeit zeigen: Stahl, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei. Die meisten Versuche, welche auch bis auf die neuesten Zeiten im vorzüglichsten Ansehen standen, hat Musschenbroek [2] angestellt; und sie dürfen allerdings auf einen hohen Grad der Genauigkeit Anspruch machen, wenn gleich die Resultate weder unter sich noch mit andern vollkommen übereinstimmen, indem sich dieses aus anderweitigen, nachher zu erörternden Nebenumständen leicht erklären läſst. Eine Reihe von Versuchen verdankt man dem Grafen v. Sickingen [3], welche er mit 2 F. langen und 0, 8 Lin. dicken Drähten anstellte. Diese rissen durch folgende Gewichte:

1 P. Franc. Tertii de Lanis Magisterium naturae et artis. Brixiae 1686. fol. II. L. XI. cap. 1. §. 22.

2 Dissert. physical et geom. Viennae 1756. Ej. Inst. phys. p. 293. Introd. I. 890.

3 Versuche über die Platina Manh. 1782. p. 114.

Eisen, sehr sprödes durch	60 ℔.	24 Loth	0 Qt.	8 Gr.
— — wenig sprödes —	39 —	12 —	—	47 —
Messing — — —	40 —	30 —	3 —	14 —
Kupfer — — —	33 —	2 —	0 —	4 —
Platin — — —	28 —	15 —	0 —	5 —
Silber — — —	20 —	22 —	1 —	48 —
Gold — — —	16 —	12 —	0 —	43 —

Auf grofse Sorgfalt machen auch diejenigen Versuche Anspruch, welche Guyton de Morveau [1] angestellt hat. Nach dieser ersten Reihe wurden zum Zerreisen von Drähten, welche 0,887 par. Lin. dick waren, an Gewicht erfordert, bei

Eisen — — —	510,2 par. ℔.	Gold — —	139,8 par. ℔.
Kupfer — —	280,7 — —	Zink — —	101,7 — —
Platin — —	254,7 — —	Zinn — —	32,1 — —
Silber — —	173,8 — —	Blei — —	11,5 — —

Später erhielt ebenderselbe [2] zwar die nämlichen Reihenfolge der Metalle rücksichtlich ihrer Cohäsion, indefs doch einige Abweichung in den einzelnen gefundenen Gröfsen. Stangen von 2^{mm} im Durchmesser rissen nämlich durch folgende Gewichte in Kilogrammen.

Eisen — —	249,659 K.	Gold — —	68,216 K.
Kupfer —	137,399 —	Zink — —	49,790 —
Platin —	124,690 —	Zinn — —	15,740 —
Silber —	85,062 —		

Blei, nach der Dimension beim Zerreifsen — 12,555 K.
Blei, absolute Tragkraft — — — — — 5,623 —

Eytelwein [3] hat nicht blofs die Resultate früherer Versuche in grofser Vollständigkeit zusammengestellt, sondern auch durch eigene bereichert, deren einige später noch besonders erwähnt

1 Mém. del' Inst. IX. 267. G. XXXIV. 209. Ann. de Ch. XX. 9. Scherer Allg. J. d. Chem. I. 676.

2 Ann. de Chim. LXXI. 194. G. XXXIV. 209. Diese Versuche stehen im Frankreich am meisten in Ansehn.

3 Handbuch der Statik fester Körper mit vorzüglicher Rücksicht auf ihre Anwendung in der Architectur. 3 Bde. Berl. 1808. Eine sehr vollständige Uebersicht der älteren Versuche giebt gleichfalls die Edinburgh Encyclopaedia. V. p. 494. ff.

werden sollen. Viele Versuche haben ferner Telford [1] und Tredgold [2] angestellt, vorzüglich auch G. Rennie mit einem genau beschriebenen, und allem Anschein nach sehr zweckmäfsigen Apparate [3]. Einige der durch ihn erhaltenen Resultate sind folgende. Es rissen Stäbe von 0,25 engl. Quad. Zoll Querschnitt bei 6 Z. Länge durch Pfunde in avoir du poid Gewicht:

Gegossenes Eisen	1193 ℔
Gufsstahl	8391 —
Gehämmerter Stahl (Blister)	8322 —
desgl. (Sheer)	7977 —
Schwedisches Eisen, gehäm.	4504 —
Englisches Eisen, gehäm.	3492 —
Speismetall	2273 —
Geschlagenes Kupfer	2212 —
Gegossenes Kupfer	1192 —
Feines Messing	1123 —
Gegossenes Zinn	296 —
Gegossenes Blei	114 —

Einige eigene Versuche, Benutzung fremder, berechnete Tabellen und eine sehr vollständige Uebersicht der Cohäsionserscheinungen, mit hauptsächlicher Rücksicht auf die Stärke des Gufseisens unter den verschiedensten Bedingungen, hat ganz neuerdings Tredgold in einem lehrreichen Werke zusammengestellt, welches in England sehr allgemein bei praktischen Anwendungen benutzt wird [4].

Es ist sehr schwierig, aus Versuchen, wenn sie auch noch so sorgfältig angestellt wurden, für die Anwendung brauchba-

---

1 Barlow Essay on the Strength and Stress of Timber. Lond. 1817. Daraus in Jahrb. des polyt. Inst. in Wien. V. 215.

2 Elementary Principles of Carpentry. Lond. 1810. neueste Ausg. Ebend. 1820. 8.

3 Phil. Tr. 1818. p. 118. Vergl. Ann. de Ch. et P. IX. 33, wo die Versuche, jedoch ohne irgend einen Grund dieser Behauptung anzugeben, minder zweckmäfsig genannt werden.

4 Practical Essay on the Strength of cast Iron and other metals cet. by Thomas Tredgold. Lond. 1824. 8. Dieses Werk ist gemeint, wenn schlechtweg Tredgold angeführt wird.

re Resultate zu erhalten, weil die angewandten Stoffe in vielfacher Rücksicht sehr von einander abweichen. Namentlich bei Metallen machen ihre Reinheit überhaupt und ihr Freiseyn von kleinen Partikelchen Oxyds insbesondere, der höhere oder geringere Hitzegrad, wobei sie geschmolzen sind, die Schnelligkeit und Art des Erkaltens, das Hämmern, Drahtziehen, vorausgegangenes öfteres Glühen und sonstige Bedingungen einen grofsen Unterschied, und alle Resultate aus solchen Versuchen können daher nur als genäherte Werthe betrachtet werden. Man hat dieses lange im Allgemeinen gewufst [1], oft aber auch im Einzelnen erfahren, z. B. bei den Versuchen mit verschiedenen Arten Eisen [2], indem unter andern Eytelwein [3] fand, dafs zwei gleiche eiserne Stangen durch 21160 und 17560 ℔, und zwei andere abermals anscheinend vollkommen gleiche durch 2600 und 1780 ℔ rissen. Man mufs ferner zwar im Allgemeinen annehmen, dafs der Zusammenhang gleichartiger Körper von ungleicher Dicke im geraden Verhältnisse der Queerschnitte wächst [4], und würde ohne diese Voraussetzung gar nicht im Stande seyn, von einem Versuche mit einem Körper von gegebenem Durchmesser auf einen gleichartigen anderen von verschiedenem Durchmesser zu schliefsen. Allein schon Rumford [5] hat eingesehen, dafs ein solcher Schlufs durchaus nicht genügend begründet sey, indem er sogar auch der verschiedenen Form der Körper einen Einflufs beilegt. Nach Parrot [6] rifs ein Eisendraht von 1 Quad. Lin. Queerschnitt durch 490 ℔, ein anderer aus dem nämlichen Metall verfertigt, von 350 Quad. Lin. aber durch 17300 ℔, anstatt dafs er erst durch 171500 ℔ hätte reifsen müssen. Noch genauer wurde diese Wahrheit begründet durch diejenigen Versuche, welche die Construction der Drahtbrücken veranlafste. Die Kön. Akademie in Paris ernannte nämlich zur Untersuchung der Sache eine

1 Robison Syst. I. 397.

2 Ann. of Phil. VII. 321.

3 Handb. d. Stat. II. 248.

4 Vergl. Robison Syst. I. 395. Tredgold p. 117. u. v. a.

5 G. XIII. 390.

6 Theor. Phys. I. 50. Vergl. Guyton de Morveau in Mém. de l' Inst. IX. 268.

Commission aus Prony, Fresnel, Molard und Girard bestehend, welche durch Versuche fanden, dafs

Stangen von 0,0045 bis 0,0315 Met. Dicke auf 1 Millim. 40 Kilogr.
— — 0,0315 — 0,2700 — — — — — 21 —
Draht — 0,00025 — 0,0060 — — — — — 60 —
Klavierdraht von 24 bis 25 mal dünner — — 80 —

trugen, wobei noch aufserdem in Betrachtung kommt, dafs gezogener Draht eine bedeutend gröfsere Cohäsion zeigt, als gewöhnlich bearbeitetes Metall, und an Stärke verhältnifsmäfsig sehr verliert, wenn die äufsere Oberfläche weggeschabt oder gefeilt ist, indem die Appretirung (*corroyage*) und das Ziehen desselben gleichsam eine Art Epidermis bildet, welche stärker ist, als das Innere, und bei dünnen Drähten mehr beträgt, als bei dicken [1]; oder wie Robison [2] meint, weil die Bestandtheile eine andere Lage gegen einander bekommen, indem die Körper überhaupt dichter werden, mit Ausnahme des Bleies, welches durch den Procefs des Drahtziehens lockerer werden, zugleichs aber seine Cohäsion um das Dreifache wachsen soll. (?) Bei Gold, Silber und Messing wird nach eben diesem Schriftsteller die Cohäsion durch das Drahtziehen verdreifacht, bei Kupfer und Eisen mehr als verdoppelt. Der nämliche Gegenstand, nämlich die Construction der Drahtbrücken hat aufserdem noch zwei Reihen von Versuchen veranlafst, um die Stärke der verschiedenen Drähte auszumitteln. Seguin zu Annonay nämlich fand als Hauptresultat aus einer grofsen Reihe von Versuchen mit verschiedenen Sorten Eisendraht, dafs im Allgemeinen die feineren Sorten verhältnifsmäfsig die gröfste Stärke besitzen. Die von ihm versuchten Drähte von N^{ro}. 1 bis 23, welche von 0,6188 bis 5,942 Millim. im Durchmesser hielten, zeigten für einen Durchmesser von 1^{mm} eine Cohäsion von 86,98 bis 49,32 Kilogramm [3]. Noch bedeutender sind diejenigen Versuche, welche Dufour gleichfalls mit verschiedenen Sorten Eisendraht anstellte. Hierbei fand er, dafs diejenige Sorte, deren Durchmesser 0,85 Millim. betrug, im Mittel durch ein Gewicht von

1 Moniteur. 1824. N^{ro}. 35.

2 Syst. of Mech. Phil. I. 397.

3 Ann. de C. et P. XXV. 110.

46 bis 48 Kilogramm zerrissen wurde. Um zugleich den Einfluſs der Temperatur zu prüfen, lieſs er den zu untersuchenden Draht durch eine kaltmachende Mischung von — 22°,5 C. und durch Wasser von 92,5 C. Wärme gehen, und fand, daſs beide Temperaturen keinen Einfluſs auf die Stärke der Cohäsion hatten, ausgeglüheter Draht aber verlor die Hälfte seiner Tenacität [1]. Die letztere Behauptung steht im Einklange mit demjenigen, was so eben aus Robison angeführt ist, die erstere aber steht minder im Widerspruche mit der allgemein angenommenen grösseren Sprödigkeit des Eisens bei niederer Temperatur, insofern ohne Verminderung der Cohäsion ein spröderer, und dadurch weniger biegsamer Körper leichter abspringen kann, als vielmehr mit der auf die vielfachsten Versuche gestützten Behauptung Tredgold's [2], daſs alle Metalle durch Wärme an Cohäsion abnehmen. Namentlich ergab ein mit Eisen angestellter Versuch, daſs eine Temperaturerhöhung von 84°,45 C. eine Verminderung der gesammten Cohäsion von 0,05 bewirkte. Mehr im Einzelnen erhielt Dufour aus seinen Versuchen folgende Resultate. Feinster Eisendraht N^ro^. 4, von 0,85 Millim. Durchmesser trug 48 Kilogr., ausgeglühet 21 K. Draht N^ro^. 13 von 1,9 Millim. Durchmesser trug im Mittel 186 K. ausgeglühet 101 K., und war also verhältniſsmäſsig $\frac{1}{7}$ schwächer. Draht von N^ro^. 17, fast 3 Millim. im Durchmesser trug 882 K., ausgeglühet etwa halbsoviel, von N^ro^. 19 aber, 8,7 Millim. im Durchmesser, trug gegen 776 K., ausgeglühet 403. Man darf also annehmen, daſs Draht von 1 bis 4 Millim. im Durchmesser auf ein Quadratmillimeter der Durchschnittsfläche mindestens 60 K. zu tragen vermag, statt daſs geschmiedete Eiſenstäbe nur 40 K. tragen. Messingdraht will derselbe noch etwas stärker gefunden haben [3], welches gleichfalls allen anderen Versuchen widerstreitet.

Viele Körper, namentlich die Metalle, dehnen sich bei Versuchen über ihre absolute Festigkeit um eine aliquote Gröſse aus, und ziehen sich bei nachlassender Einwirkung der sie ausdehnenden Kraft wieder zu ihrer früher Länge zusammen.

---

1 Bibl. univ. XX. 220.
2 On cast Iron. p. 104. u. a. v. O.
3 Bibl. univ. XXIII. 305.

wendenden Balken die Gröfsen b, h und l entweder genau oder in sehr genäherten Werthen bekannt, und es wird dann ihre Tragkraft gesucht. Dann ist blofs erforderlich, vermittelst der in der Tabelle angegebenen Werthe von m das eigene Gewicht der Körper = w, vermittelst der Formel aber den Werth von W zu suchen, woraus dann leicht W — w = W' oder diejenige Last gefunden werden kann, womit die Balken sicher beschwert werden dürfen.

Dafs endlich die Tragkraft der Balken, Stäbe u. dgl. noch bedeutend erhöhet werde, wenn man ohne Vermehrung ihrer Masse dieser verschiedene Formen giebt, wie diese z. B. bei Waagebalken nach Hurter und andern Künstlern, oder namentlich zu den Balancieren oder den Bäumen der Dampfmaschinen gewählt zu werden pflegen, liegt in der Natur der Sache, genaue Berechnungen für jede einzelne Form aber liegen aufser dem Bereiche dieses Werkes.

3. Rückwirkende Festigkeit.

Man versteht unter rückwirkender, oder nach Girard negativ absoluter, Festigkeit diejenige Kraft, welche die Körper einer sie zusammendrückenden oder zerdrückenden Last entgegensetzen. Der Ausdruck: *rückwirkende Festigkeit* bezeichnet diesen Begriff genau, und der andere, nämlich *negativ absolute*, auch für diejenigen Fälle, in denen ein gegen seinen Durchmesser verhältnifsmäfsig langer Körper durch eine in der Richtung seiner Längenaxe wirkende Kraft gedrückt wird. Es giebt zwei vorzügliche Aeufserungen der rückwirkenden Festigkeit, hauptsächlich in Rücksicht auf die praktische Anwendung, nämlich zuerst wenn eine Säule oder ein Prisma aufrecht steht, und eine Last trägt, dann das Gewicht zu finden, welches, ohne Biegung und demnächst Zerbrechung zu bewirken, getragen werden kann, wobei die Länge des Körpers sehr in Betrachtung kommt; und zweitens wenn ein Körper ohne bedeutende Länge, z. B. ein Würfel gedrückt wird, die Last zu finden, welche er ohne Zerstörung seiner Cohärenz zu tragen vermag. Wir untersuchen zuvörderst das Erstere.

A. Das Problem über die rückwirkende Festigkeit der Körper, oder über die Last, welche gerade, auf einem horizontalen Boden stehende Säulen oder prismatische Körper zu tra-

stränge in gerader Richtung in Conflict bringen wollte, was aber für gröfsere Längen unmöglich und für die Anwendung ohne Nutzen ist. Réaumur[1] fand diesemnach bei seinen Versuchen, dafs gedrehete Stricke durch weit geringere Gewichte zerrissen wurden, als die Summe derjenigen, welche die einzelnen in ihnen vereinigten Schnüre zu tragen vermochten. Auch genäfste Stricke reifsen nach Musschenbroek[2] leichter, als trockne, und verlieren allgemein durch stärkeres Zusammendrehen, weswegen sie nur so wenig zusammengedrehet seyn müssen, als zu ihrer Haltbarkeit durchaus erforderlich ist.

Noch verdienen einige sehr gehaltreiche Untersuchungen des Grafen Rumford[3] über einige auffallende Erscheinungen der Cohärenz verschiedener Körper hier erwähnt zu werden. Vegetabilische und thierische Stoffe, welche zuerst flüssig sind, und dann erhärten, zeigen eine unglaubliche Stärke der Cohäsion, z. B. Flachs und Hanffäden, Seide, Haare, erhärteter Mehlkleister, Schreinerleim u. dgl. Die Festigkeit einer 0,05 Lin. dicken kupfernen Röhre wird durch einen um dieselbe geleimter Streifen Papier von doppelter Dicke mehr als doppelt verstärkt. Ein Cylinder von zusammengeleimtem Papiere, höchstens einen Quadratzoll Querschnitt haltend, trug 30000 ℔., und ein gleicher Cylinder von ihrer Länge nach zusammengeleimten Hanffäden 92000 ℔., indem ein gleich dicker Cylinder von dem besten Eisen nur 66000 ℔., und von geringerer Güte nur 55000 ℔. trug. Ein seidener Faden ist dreimal so stark als ein gleich dicker von Flachs, und ein Menschenhaar ist im Verhältnifs der Dicke stärker, als ein Pferdehaar.

Aus dem bisher Gesagten ergiebt sich, dafs alle durch Versuche gefundene Bestimmungen der absoluten Festigkeit nur für genäherte Werthe zu halten sind. Bei der vielfachen Anwendung indefs, welche man von denselben zu machen veranlafst wird, ist es nicht überflüssig, auch diese in einer Tabelle zur leichtern Uebersicht neben einander zu stellen, wozu ich dieje-

1 Mém. de l'Ac. 1711. p. 7 — 19.
2 Int. I. 408.
3 Aus Journal of the Royal Inst. I. 34. bei G. XIII. 383.

nigen Resultate unverändert aufnehme, welche EYTELWEIN [1] zu diesem Ende aus älteren Beobachtungen berechnet hat, mit Hinzufügung der neuesten genaueren Bestimmungen, welche letzteren mit einer Angabe der Autoritäten versehen sind [2]. Indem aber EYTELWEIN in seinem ohnehin vielgebrauchten Werke jene auf rheinl. Maſs und Berliner Pfunde reducirt hat, so ist beides für die ganze Tabelle beibehalten, um so mehr, als der rheinl. Fuſs von den Fuſsmaſsen der meisten deutschen Staaten wenig abweicht, das Berliner Pfund aber dem kölnischen Markgewichte gleich, und somit in Deutschland sehr bekannt, von dem meistens üblichen Gewichte gleichfalls nicht sehr abweichend ist. Will man die Angaben der Tabelle auf altfranzösisches Fuſs- und Gewichts-Maſs reduciren, so darf man die angegebenen Gröſsen nur mit 1,0215 multipliciren, um die Tragkraft einer Stange von 1 Par. Quadratzoll Querschnitt in pariser Pfunden, oder mit 1,0712, um sie in berliner Pfunden zu erhalten; desgleichen giebt die Multiplication mit 0,97186 die Tragkraft einer Stange von einem englischen Quadratzoll in Londoner Pfunden, und mit 0,94317 die Tragkraft derselben in Berliner Pfunden; endlich erhält man die Tragkraft einer Stange von einem Quadrat Centimeter der Durchschnittsfläche in Kilogrammen, wenn man die angegebene Zahl mit 0,06379 und in Berliner Pfunden, wenn man sie mit 0,1365 multiplicirt.

Stahl,	wie zu Scheermessern	158200
—	— — gemeinen Messern	142380
—	mittelmäſsig biegsamer	130780
—	bester biegsamer	125510
—	bester gehärtet	118120
—	gemeiner biegsamer	113900
—	guter engl. (Rennie)	133764
Eisen,	schlesisches geschmied. . . .	78140
—	schwedisches geschmied. . . .	76570

1 a. a. O. II. 262.

2 Viele Resultate aus englischen Versuchen über die Stärke des Eisens nach Barlow Essay on the Strength and Stress of Timber. Lond. 1817 findet man im Einzelnen genau angegeben in Jahrb. des polyt. Inst. in Wien V. 228. Sie sind durch Tredgold benutzt und finden sich den wesentlichen Ergebnissen nach in der Tabelle mit aufgenommen.

Eisen, gemeines geschmied.	71800
— dicke Stangen } (franz. Commiss.)	32922
— dünne Stangen } (franz. Commiss.)	62710
Eisenstangen, französ. (Düfour.)	62710
Eisen, engl. gutes, im Mittel aus vielen Versuchen (Tredgold)	61737
— deutsches gegossenes	70433
— englisches gegossenes (Rennie)	95692
Eisendraht — —	60433
— mittlere Dicke (franz. Commiss.)	94062
— — — (Düfour)	94062
— französ. stärkerer (Seguin)	77319
Klavierdraht, franz. (Seguin)	136360
— — — (franz. Commiss.)	125420
Goldraht, Pistolengold	67129
Gold, gegossen	21093
Silberdraht	49690
Feines gegossenes Silber	42186
Messingdraht	48480
Messing (Rennie)	18531
Kupfer, gelbes barbarisches, geschmiedet	41128
— — schwedisches —	38865
— — — gegossen	38463
— — ungarisches —	32661
— — spanisches —	21785
— — japanisches —	20910
— — barbarisches —	23284
Kupferdraht, rother schwedischer	40205
Kupfer, geschmiedetes (Rennie)	33956
Zinndraht	6609
Zinn, englisches gegossenes	6167
— aus Banca	3796
— aus Malacca	3322
Bleidraht	3934
Blei, englisches gegossen	913
Wismuth, gegossen	3228
Zink, gegossen	2903
Spiefsglanz, gegossen	1093
Glas, weifses	2812

Eichenholz, Sommereichen, vom Kern	26600
— zwischen Kern und Splint	21940
— vom Splint	14760
Steineichen	22120
Erlenholz	24740
Rothbuchen	22360
— (Barlow)	11467
Sekkerdanholz	22784
Eschenholz	21488
— (Barlow)	17492
Kiefernholz, das stärkste	21400
— das schwächste, harzig	12520
Eichenholz, indisches, Teak, (Barlow)	15090
Englische Eiche (Barlow)	10290
Weifsbuche	20400
Zuckerkistenholz	18832
Weifsdornholz	18850
Granadillenholz	17028
Kampferbaumholz	16847
Buchsbaumholz	15790
— (Barlow)	20467
Weidenholz	15709
Weifstanne	15400
— (Barlow)	12347
Ulmenholz	14857
Guajacholz	14432
Nufsbaumholz	14261
Kirschbaum, wildes	13978
Lindenholz	13870
Ebenholz	13504
Olivenholz	12614
Mispelbaumholz	12028
Birnbaumholz	11158
— (Barlow)	10106
Pflaumbaumholz	11099
Rothtanne	10920
Holunderholz	10547
Santelbaumholz, rothes	10128
Apfelbaumholz	10018

Mahagoni (Barlow)	8774
Hanfseile	9000
— engl.	5571
Mauerziegel	290
— brick, (Tredgold)	283
Marmor, weifser (ders.)	1863
Schiefer, italiänifcher (ders.)	11833
— von Westmoreland (ders.)	8098
— schottischer (ders.)	9878
Stein, Portland-stone (ders.)	882
Bath-stone (ders.)	492
Craighleith-stone (ders.)	794
Dundee-stone (ders.)	2738

Wenn man von diesen Bestimmungen der absoluten Festigkeit der Körper eine praktische Anwendung machen will, so ist es rathsam, wegen der Ungewifsheit solcher Angaben bei Metallen nur die Hälfte, bei Hölzern und Seilen[1] nur den dritten Theil der angegebenen Werthe in Rechnung zu nehmen[2]. Hierbei kommt es selten vor, dafs Körper, welche vermöge ihrer absoluten Fertigkeit Lasten tragen sollen, sehr lang sind, in welchem Falle ihr eigenes Gewicht zugleich neben dem zu tragenden berechnet werden müfste. Sollte dieses aber dennoch der Fall seyn, so läfst sich aus demjenigen, was hierüber im nächstfolgenden Abschnitte N^ro^. 12 gesagt ist, leicht die Methode einer solchen Berechnung entlehnen.

2. Relative Festigkeit.

Relative oder respective Festigkeit der Körper nennt man diejenige Stärke derselben, mit welcher sie einer auf ihre Längenaxe normal wirkenden Kraft entgegenstreben. Nimmt man hierbei auf gleiche Weise Körper von gegebenen Dimensionen,

---

1 Tredgold p. 280. giebt an, dafs man das Quadrat des Umfanges eines Hanfseiles in Zollen mit 200 und eines Cabelthaues mit 120 multipliciren mufs, um die Tragkraft desselben in Pfunden zu finden. Die hierdurch erhaltenen Werthe im engl. Mafse und Gewichte lassen sich nach dem oben angezeigten Verhältnifs durch Multipliciren mit 1,029 leicht in Berliner verwandeln.

2 Eytelwein a. a. O. II. 264.

und beschwert sie mit einer Last in Pfunden ausgedrückt so lange, bis sie zerbrechen, so giebt das hierzu angewandte Gewicht das Maximum ihrer respectiven Festigkeit. Da dieser Gegenstand auf gleiche Weise, und noch wohl mehr, von praktischem Nutzen ist als die Kenntnifs der absoluten Festigkeit, so hat man seit längerer Zeit sich bemühet, ihn durch theoretische Untersuchungen und praktische Erfahrungen genau zu ergründen. Unter den theoretischen Untersuchungen sind die vorzüglichsten von GALILAEI [1], LEIBNITZ [2], MARIOTTE [3], VARIGNON [4], JAC. BERNOULLI [5], L. EULER [6], KRAFT [7], BÜLFINGER [8], YOUNG [9], GREGORY [10], BREWSTER [11], BORGNIS [12] u. a. zugleich mit Versuchen verbunden sind die von PARENT [13], RÉAUMÜR [14], BÜFFON [15], DU HAMEL [16], COULOMB [17], CAMUS DE MÉZIÈRES [18], EYTELWEIN [19], G. G. SCHMIDT [20], JOHN BANKS [21], RONDELET [22],

---

1 Discorsi e dimostrazione matematiche. Leid. 1638.

2 Act. Erud. Lips. 1684. p. 319.

3 Traité des Mouv. des Eaux. Par. 1686. P. V. disc. II.

4 Mém. de l'Ac. 1702. p. 90.

5 Ebend. 1705. p. 230.

6 Acta Acad. Pet. 1778. I. 121.

7 Dissert. de corp. natur. cohaerentia. Tab. 1752. 4.

8 Com. Pet. IV. 164.

9 Lectures. II. p. 46.

10 Treatise on Mechaniks, theoretical, practical and descriptive. 2 vol. 8. Lond. 1815. I. art. 180.

11 Ferguson Lectures. Edinb. 1823. II. 232.

12 Théorie de la Mécanique usuelle. Par. 1821. 4. p. 336.

13 Mém. de Par. 1707, 1708, 1710.

14 Ebend. 1711. p. 6.

15 Ebend. 1740. u. 41. Auch in Hamb. Mag. V. 179. u. 506.

16 Mém. de l'Ac. 1768. p. 534.

17 Mém. de Mathem. et de Phys. présentes à l'Acad. de Par. 1773. p. 343.

18 Traité de la force des Bois. Par. 1782. 8.

19 Lehrbuch d. Statik u. s. w. Th. II.

20 Gren N. J. IV. 184.

21 On the Power of Machines. Kendal 1803. p. 96.

22 Traité théorique et pratique de l'Art de Bâtir. Par. 1814. VI vol. 4. IV. 514.

Rennie [1], Reynolds [2], Duleau [3], Gauthey [4], Barlow [5], Tredgold [6], White [7] u. a. ausführliche Zusammenstellungen der wichtigsten Versuche, Prüfung derselben und Formeln zur praktischen Anwendung, endlich findet man theils in den genannten Werken, theils bei Girard [8], Langsdorf [9], weitläuftig bei Magold [10], kurz bei Brandes [11], ausführlich bei Eytelwein [12], Emerson [13], Leslie [14], insbesondere aber sehr gründlich und mit verschiedenen Tabellen zum praktischen Gebrauche in Tredgold's mehr erwähntem Werke.

Sowohl theoretische Untersuchungen, als auch Versuche führten auf gleiche Weise zu dem Resultate, dafs bei einem überall gleich dicken Parallelepipedum, wenn dasselbe an beiden Enden unterstützt und in der Mitte mit der ganzen Last beschwert ist, die Tragkraft im geraden Verhältnisse der Breite und des Quadrates der Höhe, und im umgekehrten der Länge steht. Heifst deswegen die Tragkraft irgend eines Körpers in Gewichten ausgedrückt W, die Breite der Fläche seines Querschnittes b, die Höhe h, der Abstand der beiden Unterstützungspuncte l, so ist:

---

1 Phil. Trans. 1818. 1. Phil. Mag. LIII. 173.

2 Nicholsons J. 1813. XXXV. 4.

3 Essay théorique et expérimental sur la résistance du fer forgé. Par. 1820. 4.

4 Traité de la Construction des Ponts, Par. 1809. u. 13. II vol. 4. II. 153.

5 Essay on the Strength of Timber. Lond. 1817. 8. p. 88.

6 a. a. O. Phil. Mag. and J. 1820. Oct.

7 Philos. Mag. and J. 1821. Mai.

8 Traité analytique de la resistance des solides, et de solides d'égale resistance cet. à Par. An. VI. Deutsch: P. S. Girards analytische Abhandlung von dem Widerstande fester Körper u. s. w. von C. Kröncke. Gies. 1803. 4.

9 Handbuch der Maschinenlehre für Practiker und acad. Lehrer. Altenb. 1797. II vol. 4. I. 73.

10 Mathematisches, Lehrbuch zum Gebrauche öffentlicher Vorlesungen, u. s. w. Landsh. 1806 — 13. V. 36.

11 Lehrb. d. Gesetze des Gleichgewichts u. der Bewegung u. s. w. I. 151.

12 a. a. O.

13 Mechanics, or the doctr. of Motion. 1769. I vol. 8.

14 Elements of Natural Philosophy. Edinb. 1823. I.. 214.

$$W = \frac{k\,h^2 b}{l}.$$

Ist aber das Parallelepipedum an einem Ende horizontal befestigt, am andern mit der ganzen Last beschwert; so ist:

$$W' = \frac{k\,h^2 b}{4l},$$

wobei bloſs der constante Coefficient k für die verschiedenen Körper durch Versuche ausgemittelt werden muſs.

Man hat eine unglaubliche Menge von Versuchen zur Bestimmung von k angestellt, welche man sehr vollständig durch Tredgold geprüft findet. Eine der besten Methoden ist diejenige, deren sich Beaufoy[1] bediente, um die Tragkraft verschiedener Holzarten zu messen, welche daher unter mehreren andern hier erwähnt werden möge. Es wurde das eine Ende des zu prüfenden prismatischen Körpers a a in einen starken Balken A A fest eingekeilt, trug am andern ein eigens vorgerichtetes, auf dasselbe geschobenes Bogenstück b b, damit die Richtung des herabziehenden Seiles c d e stets auf die Längenaxe desselben normal wäre; an dieses Seil wurde eine Waagschale P befestigt, und durch ein Gegengewicht p, über wenig Reibung verursachende Rollen gezogen, balancirt, und wenn dann die Waagschale mit Gewichten beschwert war, so gab ein Zeiger r, an einer herabgehenden Stange s befestigt, die Biegung in Graden an, und die Summe der, bis zum Zerbrechen aufgelegten Gewichte in Pfunden die absolute Tragkraft oder das Maximum der relativen Festigkeit des untersuchten Körpers. Hiermit läſst sich dann auch leicht diejenige Last finden, wodurch ein Körper beschwert werden kann, ohne daſs seine Form bleibend verändert wird, oder nach deren Wegnahme er seine vorige Gestalt wieder annimmt, und welche man als das Maximum ansehen kann, womit er in der Anwendung beschwert werden darf. Beaufoy fand vermittelst dieses Apparates, daſs verschiedene Stücke der nämlichen Holzart sehr ungleiche, zuweilen bis auf das Doppelte steigende Tragkraft zeigten, dagegen waren die Krümmungen derselben so lange sehr regelmäſsig, als sie nicht über die Hälfte des Maximums ihrer

Fig. 45.

---

1 Ann. of Phil. VIII.

relativen Festigkeit beschwert wurden. Die Versuche sind nur mit den zum Schiffsbaue brauchbaren Holzarten angestellt, haben indefs einige allgemeine Resultate gegeben. Als die stärkste Holzart zeigte sich die Pechtanne (pitch-pine) und zunächst nach dieser die englische Eiche mit geraden Fibern. Gleich lange Parallelepipeda von ungleichen Dimensionen zeigten eine nach etwas mehr als dem Kubus der Seiten des Querschnittes zunehmende Tragkraft, wurden sie aber in mehrere ähnliche Parallelepipeda zerschnitten, so nahm ihre Tragkraft ab, wie die Quadratwurzeln der Zahl der Stücke, worin sie zerschnitten waren. Es zeigt sich hierbei also der umgekehrte Erfolg als derjenige, welchen die Versuche über die absolute Festigkeit namentlich der Metalle geben, indem diese leztere kleiner ist, als das Verhältnifs des Querschnittes, jene dagegen gröfser.

Eine Reihe sehr schätzbarer Versuche über die respective Festigkeit der verschiedenen Holzarten hat Barlow [1] angestellt, indem er die prismatischen, genau gearbeiteten Körper entweder horizontal an beiden Enden frei auflegte, oder sie an beiden Enden befestigte, oder an einem Ende horizontal festkeilte, oder endlich unter einem Winkel gegen den Horizont geneigt gleichfalls an einem Ende festkeilte. Auch hierbei wurde die Biegung auf eine sinnreiche Weise gemessen, doch ist Beaufoy's Methode vorzuziehen.

Tredgold [2] hat vorzüglich mit den verschiedenen Sorten Gufseisen, aber auch mit Schmiedeeisen, sonstigen Metallen, Hölzern u. s. w. eigene Versuche angestellt, andere, welche in England so häufig gemacht sind, verglichen, und sie verdienen um so mehr beachtet zu werden, als sie mit gröfster Sorgfalt und steter Rücksicht auf eine praktische Anwendung angestellt und berechnet wurden. Namentlich berücksichtigt Tredgold weniger dasjenige Gewicht, durch welches die Körper zerbrochen wurden, als vielmehr dasjenige, welches sie zu tragen vermochten, ohne ihre Form bleibend zu ändern. Behalten wir seine Art der Bezeichnung bei, nennen dasjenige Gewicht in

---

1 a. a. O. dem wesentlichen Inhalte nach mitgetheilt in Jahrb. d. pol. Inst. V. 240.

2 Practical Essay on the strength of cast Iron and other metals. Lond. 1824.

Pfunden ausgedrückt, welches ein Würfel von einem Zoll Seite zu tragen vermag, ohne seine Form bleibend zu ändern $= f$, so enthält die folgende Tabelle die von ihm gefundenen, auf rheinländ. Zolle und Berliner Pfunde reducirten Werthe von f für die verschiedenen Substanzen, und zugleich einen Werth für m, dessen Gebrauch weiter unten nachgewiesen werden wird.

Substanzen	f	m
Schmiedeeisen . .	18315	0,28296
Gufseisen . . .	15743	0,27439
Glockenspeise . .	10289	0,30354
Messing . . .	6894	0,31120
Zink . . .	5865	0,26152
Zinn . . .	2963	0,27138
Blei . . .	1511	0,42359
Fischbein . . .	5762	0,04827
Eiche, engl. geradfibrige .	4074	0,03087
Mahagoni, von Honduras .	3910	0,02084
Fichte, gelbe amerikanische .	4013	0,01595
Tanne, rothe . .	4414	0,02079
— weifse . .	3735	0,01750
Lerchenbaum . .	2125	0,02084
Esche . . .	3643	0,02830
Buche . . .	2428	0,02710
Ulme . . .	3334	0,02024

Sollen von diesen Werthen praktische Anwendungen gemacht werden, so dienen hierzu folgende Formeln.

1. Es sey in den angegebenen Mafsen W das zu tragende, in der Mitte aufliegende Gewicht in Pfunden; von dem tragenden Körper sey b die Breite und h die Höhe, dann ist für ein gleichförmiges, an beiden Enden aufliegendes Parallelepipedon, den Abstand der Unterstützungspuncte $= l$ genannt

$$W = \frac{2f\ b\ h^2}{3l}$$

woraus, da f durch die Zahlen der Tabelle gegeben ist, die unbekannten Gröfsen aus den bekannten gefunden werden können. Ist daher z. B. der Abstand der Stützpuncte, und das zu tragende Gewicht gegeben, so ist:

$$\frac{3\ l\ W}{2\ f} = b\ h^2.$$

Indem hiernach durch das quadratische Verhältniſs der Höhe an Material viel gespart wird, so ist dabei zugleich zu berücksichtigen, daſs die Höhe nur bis so weit vermehrt werden darf, als das Material erlaubt, ohne durch die Last eingedrückt oder seitwärts gebogen zu werden. Will man aber aus einem Cylinder vom Halbmesser = r das stärkste Parallelepipedon erhalten, so nehme man von seinem Mittelpuncte an die halbe Höhe desselben = 0,8165 r, und seine halbe Breite = 0,57735 r.

2. Liegt die Last nicht in der Mitte zwischen beiden Stützpuncten, sondern heiſsen die beiden Abstände, gleichfalls in Zollen, λ und λ', so ist:

$$W = \frac{f\ b\ h^2}{6} \times \frac{1}{\lambda.\ \lambda'}$$

3. Ist die Last gleichmäſsig über den ganzen Balken verbreitet, so trägt derselbe doppelt so viel, als wenn sie in der Mitte aufliegt, und es ist also

$$W = \frac{4f\ b\ h^2}{3\ l}.$$

4. Wenn ein Parallelepipedon an einem Ende befestigt, die Last aber am andern angebracht ist; so trägt es nur den vierten Theil des für N^{ro}. 1. angegebenen Gewichtes, wie dieses schon in der anfänglich mitgetheilten Formel ausgedrückt ist. Hiernach wird also seyn

$$W = \frac{f\ b\ h^2}{6\ l}.$$

Diese Formel paſst auch auf diejenigen Fälle, in denen ein Balken in der Mitte unterstützt, und an beiden Enden mit Lasten beschwert ist, z. B. bei den Waagebalken oder den Balancieren der Dampfmaschinen u. s. w. Es ist hierbei nicht nöthig, daſs der Balken überall gleiche Dicke habe, vielmehr ist es besser, wenn er an dem befestigten Ende stärker ist. Als Regel hierfür gilt, daſs derselbe an demjenigen Ende, worauf die Last wirkt, eine der Breite gleiche Höhe habe, am befestigten Ende aber diejenige Höhe, welche aus der Formel für h gefunden wird, und dann in gerader Linie von hier bis ans Ende abnimmt.

5. Noch mehr und genauer findet diese Regel Anwendung, wenn die Last über den ganzen Balken vertheilt ist, in welchem Falle

$$W = \frac{f\ b\ h^2}{8\ l}.$$

Ein unmittelbarer Gebrauch dieser Formel wird bei den Tragbalken der Altanen gemacht, mit Rücksicht auf die so eben angegebene Bedingung, weswegen bei angebrachten Verzierungen darauf gesehen werden muſs, daſs ihre Vertiefungen nicht in die Linie DA einschneiden, welche von der erforderlichen gröſsten Höhe an der Mauer nach der geringsten am Ende des Balkens gezogen ist. Auch die Stärke der Zähne an Rädern läſst sich hiernach bestimmen. Berücksichtigt man indeſs, daſs die Last auch auf eine einzelne Stelle wirken kann, der Zahn aber leicht nicht überall gleiche Dicke hat, so ist es am besten, $W = \frac{f\ b\ h^2}{5\ l}$ anzunehmen, und mit Rücksicht auf das nothwendige Abreiben der Zähne wird mit Sicherheit

Fig. 46.

$$W = \frac{f\ b\ h^2}{10\ l}$$

genommen.

6. Die allgemeine Formel kann nur eine unbedeutende Abänderung erleiden, wenn die Körper keine Parallelepipeda sind. Von den vielen möglichen Formen der Flächen der Querschnitte möge hier nur der Cylinder berüksichtigt werden. Heiſst der Durchmesser desselben d, so ist, die Last in der Mitte hängend angenommen:

$$W = \frac{0{,}7854\ f\ d^3}{2\ l};$$

bei einem ungleichen Abstande derselben von den Stützpuncten, die Entfernungen $= \lambda$ und λ' angenommen

$$W = \frac{0{,}7854\ f\ d^3}{8} \times \frac{1}{\lambda.\ \lambda'};$$

und bei gleichmäſsiger Vertheilung derselben über die ganze Länge des Cylinders zwischen den Stützpuncten ist

$$W = \frac{0{,}7854\ f\ d^3}{l}.$$

Ist dagegen der Cylinder an einem Ende befestigt, am andern mit der Last beschwert, so ist für den Halbmesser = r

$$W = \frac{0,7854\ f\ r^3}{l},$$

und wenn die Last gleichmäfsig über denselben vertheilt ist:

$$W = \frac{1,5708\ f\ r^3}{l}.$$

Hieraus folgt also, dafs die Tragkraft eines Balkens von quadratischen Querschnitte zu der eines aus ihm verfertigten Cylinders sich verhält wie 1: 0,5895; zu demjenigen Cylinder aber, aus welchem er verfertigt ist, wie 1: 1,7 nahe genau.

7. Einen grofsen Vortheil erhält man in der Mechanik dadurch, dafs man statt massiver Cylinder hohle Röhren anwendet, wodurch bei gleicher Masse des Materials eine gröfsere Stärke desselben erhalten wird, vorausgesetzt, dafs zwischen dem inneren und äufseren Durchmesser des hohlen Cylinders ein richtiges Verhältnifs statt findet, dafs die Wand nicht zu schwach ist, um dem Drucke den erforderlichen Widerstand zu leisten, und die Arbeit gehörig genau, so dafs namentlich bei gegossenen Röhren die Metalldicke überall gleich und ohne Fehlstellen ist [1].

Man hat sich viele Mühe gegeben, zuvörderst das beste Verhältnifs des innern Durchmessers zum äufseren für die stärkste Tragkraft hohler Cylinder aufzufinden. Nach Girard [2] soll die relative Festigkeit am gröfsten seyn, wenn der innere Halbmesser sich zum äufseren verhält wie 51: 112. Indefs ist dieses Verhältnifs weit kleiner als dasjenige, welches die Engländer praktisch in Anwendung zu bringen pflegen. Buchanan [3] nimmt zu Wellen der Mühlräder hohle Cylinder, deren Halbmesser 3 und 4 sind, nach Tredgold [4] aber verhält sich die relative Festigkeit eines hohlen Cylinders zu der eines

---

1 Die Natur erreicht bei verschiedenen Körpern z. B. den Pflanzen und selbst den Knochen der Menschen und Thiere eine gröfsere Festigkeit durch hohle Röhren, statt massiver Cylinder. Vergl. Leslie Elements of Natural Philosophy Edinb. 1823. I. 225.

2 Ann. Ch. Ph. XXI. 352.

3 Essay on the Shafts of Mills. 2°. ed. I. 305.

4 a. a. O. p. 129.

massiven von gleicher Metallmasse, wie 1,7 : 1, wenn der innere Halbmesser sich zum äufseren wie 15 : 25 verhält, und wie 2 : 1, wenn das Verhältnifs der Halbmesser = 7 : 10 ist. Für das erstere beträgt die Metalldicke 0,2 der Dicke des ganzen Cylinders, für das letztere 0,15 derselben, und er hält letzteres für das Minimum, wenn das Metall noch stark genug bleiben soll, um nicht eingedrückt zu werden [1]. Ist allgemein der äufsere Halbmesser der Röhre = r, der innere aber = nr, so wird bey gleicher Masse die relative Festigkeit des massiven Cylinders = 1 gesetzt, die des hohlen = $\frac{1-n^4}{(1-n^2)^{\frac{3}{2}}}$ seyn [2]. Behalten wir diese Bedeutung von n bei, so ist für einen an beiden Enden aufliegenden hohlen Cylinder die Last in der Mitte,

$$W = \frac{3{,}1416\ fr^3\ (1-n^4)}{l};$$

und wenn derselbe an einem Ende befestigt ist, die Last am anderen wirkend gedacht,

$$W = \frac{0{,}7854\ fr^3\ (1-n^4)}{l};$$

in beiden Fällen aber ist die relative Festigkeit doppelt so grofs, wenn die Last über der ganzen Länge gleichmäfsig verbreitet ist, und eben so läfst sich aus den oben mitgetheilten Formeln leicht finden, wie der Fall zu berechnen sey, wenn bei einer an beiden Seiten unterstützten Röhre die Last nicht in der Mitte angebracht ist.

8. Man hat angenommen [3], dafs die Tragkraft eines dreiseitigen Prisma, wenn die eine Fläche nach Oben gekehrt,

---

1 Nach Eytelwein a. a. O. II. 322. verhält sich die Tragkraft der Röhre zu der des Cylinders von gleicher Metallmasse wie 1,212.... : 1 wenn der innere Halbmesser der Röhre sich zum äusseren wie 1 : 2 verhält.

2 Nach G. G. Schmidt's Versuchen bei Gren N. J. IV. 214. verhält sich der Querschnitt des massiven Cylinders zum Querschnitte des hohlen von gleicher Stärke, wie 84 : 59, woraus eine bedeutende Ersparung des Materials und weit geringeres Gewicht, also auch Verminderung der Reibung für Maschinen folgt.

3 Eytelwein a. a. O. II. 312. Die Behauptung wurde zuerst durch Galilaei aufgestellt, nachher durch Mariotte, Leibnitz und Jacob

die Kante aber auf den Unterlagen ruhend wäre, gröfser sey, als bei der entgegengesetzten Lage, und zwar im Verhältnifs von 8 : 1 oder nach andern von 2 : 1. Allein Tredgold folgert aus Duleau's [1] Versuchen mit dreikantigen Balken, dafs ihre Tragkraft in jeder Lage gleich sey. Die Tragkraft eines solchen aber verhält sich zu derjenigen eines rechtwinklichen von gleicher Höhe und der Breite der Basis wie 0,339 : 1. Indem nun ersterer halb so viel Masse enthält, als letzterer; aber nur nahe $\frac{1}{3}$tel so viel Tragkraft hat, so ergiebt sich hieraus, dafs deren Anwendung nicht vortheilhaft sey.

9. Die hier angegebenen Formeln geben auf allen Fall sehr genäherte Werthe, und können mit Benutzung der oben mitgetheilten Tabelle füglich praktisch angewandt werden, wobei jedoch wohl zu berücksichtigen ist, dafs auch die relative Festigkeit der verschiedenen Körper bei einzelnen Exemplaren sehr ungleich gefunden wird, abgesehen von Fehlstellen oder Brüchen in denselben, welche überall nicht statt finden dürfen, wenn von irgend einer der Formeln Gebrauch gemacht werden soll. Im Allgemeinen läfst sich aufserdem noch bemerken, dafs die Tragkraft der an beiden Enden aufliegenden Balken vermehrt wird, wenn sie fest eingemauert oder fest gekeilt sind.

10. Ein anscheinend paradoxes, aber sehr zuverlässiges Mittel, die Tragkraft der an beiden Enden aufliegenden Balken zu vermehren, giebt Camüs de Mézières [2] nach eigenen und früheren Versuchen als zweckmäfsig an, und Parrot [3] fand dasselbe in wiederholten Erfahrungen bestätigt. Man schnei-

---

Bernoulli weiter geprüft. Ihre Untersuchungen finden sich in den oben angeführten Abhandlungen derselben.

1 Essay sur la Resistance cet. p. 26. Ein gleiches Resultat folgt aus den neuesten Versuchen von Couch S. Jahrg. des polyt. Inst. in Wien. V. 233.

2 Traité de la force des Bois. p. 224.

3 Theoret. Phys. I. 53. Ein einziger eigener, aber sehr gelungener, Versuch bewies mir die Anwendbarkeit dieses leichten Mittels. Ich liefs nämlich einen 11 Z. Seite haltenden, 25,5 F. zwischen den Stützpuncten langen tannenen Balken bis in die Mitte einschneiden, dann einen eisernen, oben 8 Lin. dicken Keil bis auf den Grund in den Einschnitt treiben, wodurch sich der Balken 0,75 Z. in der Mitte über die wagerechte Ebene hob, und eine Art Gewölbe bildete. Eine genaue Bestim-

Substanzen	e	c
Mahagoni, von Honduras,	0,00238095	—
Fichte, gelbe amerikanische,	0,00241304	—
Tanne, rothe,	0,00212766	—
— weifse,	0,00198412	—
Lerchenbaum	0,00192308	—
Esche	0,00215517	—
Buche	0,00175439	—
Ulme	0,00241546	—
Kalkstein	—	516,0
Gebrannter Mauerstein	—	578,4
Granit	—	11229
Marmor	—	6237
Porphyr (nach Geauthy)	—	36608
Mauerstein, Portland stone	—	3838
— Craigleith stone	—	5650
— Dundee stone	—	6824

Unter diesen Angaben ist die von Geauthy ohne Zweifel etwas zu grofs, zugleich aber wären umfassende genaue Versuche gewifs sehr wünschenswerth. Sollen die unter c mitgetheilten Gröfsen auf englische Zolle und Pfunde reducirt werden, so geschieht dieses durch Multiplication mit 0,97159, die Reduction auf Pariser Zolle und Pfunde durch Multiplication mit 1,02118, auf Centimeter und Kilogramme aber mit 0,063787.

Noch könnte hier die Festigkeit der Körper gegen Drehung betrachtet werden. Allein diese verdient, hauptsächlich wegen ihrer Anwendung, bei der Drehwaage eine besondere Untersuchung [1]. *M.*

Collectivglas.

Sammelglas; *vitrum colligens*; verre collectif. Eigentlich ist jedes convexe Glas, welches die Strahlen näher zusammenbringt, ein Collectivglas; man versteht darunter aber vorzugsweise ein solches, das die durch ein anderes Glas schon convergent gemachten Strahlen noch stärker convergirend macht, und in einen nähern Brennpunct vereiniget [2]. *B.*

---

1 S. *Drehung.*

2 Vergl. *Brennglas.* I. 1205. u. *Fernrohr.*

meln, in welchen auch das getragene Gewicht über die ganze Länge der Körper verbreitet angenommen wurde, $w' + w = W$, in denjenigen Fällen aber, wo die Last am Ende oder in der Mitte drückt, $\frac{2w' + w}{2} = W$. Ist aber in allen angegebenen Formeln $w' = 0$, so ist der Körper so beschaffen, dafs er genau sein eigenes Gewicht trägt, und es läfst sich aus dem zugehörigen Werthe von W bei jeder der angegebenen Gleichungen die Länge, oder die Breite oder die Höhe finden, welche ein Körper haben mufs, um sein eigenes Gewicht zu tragen. Um dieses nur an einem Beispiele zu zeigen, werde die Länge einer an beiden Enden aufliegenden Stange von Gufseisen, von einem Quadratzoll Querschnitt, gesucht, welche ihre eigene Last ohne bleibend gebogen zu werden, zu tragen vermag. Es ist nach der unter N^{ro}. 1. angegebenen Formel $W = \frac{2\,f\,b\,h^2}{3\,l}$, also $\frac{w}{2} = W$ gesetzt ist $w = \frac{4\,f\,b\,h^2}{3\,l}$. Der Werth von w wird aber gefunden, wenn l bekannt ist. Wiegt nämlich die Länge eines Zolles des gegebenen Körpers m Pfunde, so ist $w = mb$, welches substituirt, auf beiden Seiten die Gleichung mit l multiplicirt und mit m dividirt giebt

$$l^2 = \frac{4\,f\,b\,h^2}{3\,m}.$$

Es ist aber das Gewicht eines rheinländischen Kub. Zolles Gufseisen in Berliner Pfunden 0,274 .. nahe genau. Substituirt man also diesen Werth für m, und den in der Tabelle enthaltenen für f, so wird

$$l^2 = \frac{4 \times 15743}{3 \times 0{,}274} = 276{,}8 \text{ Z. oder } 23{,}1 \text{ F.}$$

Zur gröfseren Bequemlichkeit und zur Erleichterung der Rechnung bei der praktischen Anwendung dieser Formeln ist in der oben mitgetheilten Tabelle der Werth von m, oder das Gewicht eines rheinländischen Würfelzolles der am meisten vorkommenden Körper in berliner Pfunden nach Tredgold's Angaben reducirt in mindestens für die praktische Anwendung hinlänglich genähertem Werthe hinzugefügt. In sehr vielen, wo nicht den meisten Fällen, namentlich beim Bauen, sind von den zu ver-

wendenden Balken die Gröfsen B, h und l entweder genau oder in sehr genäherten Werthen bekannt, und es wird dann ihre Tragkraft gesucht. Dann ist blofs erforderlich, vermittelst der in der Tabelle angegebenen Werthe von m das eigene Gewicht der Körper = w, vermittelst der Formel aber den Werth von W zu suchen, woraus dann leicht W — w = W′ oder diejenige Last gefunden werden kann, womit die Balken sicher beschwert werden dürfen.

Dafs endlich die Tragkraft der Balken, Stäbe u. dgl. noch bedeutend erhöhet werde, wenn man ohne Vermehrung ihrer Masse dieser verschiedene Formen giebt, wie diese z. B. bei Waagebalken nach Hurter und andern Künstlern, oder namentlich zu den Balancieren oder den Bäumen der Dampfmaschinen gewählt zu werden pflegen, liegt in der Natur der Sache, genaue Berechnungen für jede einzelne Form aber liegen aufser dem Bereiche dieses Werkes.

3. Rückwirkende Festigkeit.

Man versteht unter rückwirkender, oder nach Girard negativ absoluter, Festigkeit diejenige Kraft, welche die Körper einer sie zusammendrückenden oder zerdrückenden Last entgegensetzen. Der Ausdruck: *rückwirkende Festigkeit* bezeichnet diesen Begriff genau, und der andere, nämlich *negativ absolute*, auch für diejenigen Fälle, in denen ein gegen seinen Durchmesser verhältnifsmäfsig langer Körper durch eine in der Richtung seiner Längenaxe wirkende Kraft gedrückt wird. Es giebt zwei vorzügliche Aeufserungen der rückwirkenden Festigkeit, hauptsächlich in Rücksicht auf die praktische Anwendung, nämlich zuerst wann eine Säule oder ein Prisma aufrecht steht, und eine Last trägt, dann das Gewicht zu finden, welches, ohne Biegung und demnächst Zerbrechung zu bewirken, getragen werden kann, wobei die Länge des Körpers sehr in Betrachtung kommt; und zweitens wenn ein Körper ohne bedeutende Länge, z. B. ein Würfel gedrückt wird, die Last zu finden, welche er ohne Zerstörung seiner Cohärenz zu tragen vermag. Wir untersuchen zuvörderst das Erstere.

A. Das Problem über die rückwirkende Festigkeit der Körper, oder über die Last, welche gerade, auf einem horizontalen Boden stehende Säulen oder prismatische Körper zu tra-

gen vermögen, ehe sie sich biegen, ist zuerst v. L. Euler[1] theoretisch untersucht, und in Verbindung, damit auch die wissenschaftlich interessante Frage beantwortet, wie hoch eine Säule von gegebener Dicke seyn darf, bis sie durch ihre eigene Last gebogen wird. Eine Anwendung der gefundenen Formeln auf die von Musschenbroeck angestellten Versuche zeigte die Richtigkeit derselben. Die Arbeiten beider Vorgänger benutzte Eytelwein[2], und giebt die Formeln zur Berechnung der Gewichte, welche Säulen von verschiedenen Körpern nach ihrer Gestalt und Länge zu tragen vermögen. L. Eulers gehaltreiche Abhandlung findet man in vielen, namentlich der oben genannten, Werke über die relative Festigkeit der Körper benutzt. Indem aber eine ausführliche Erörterung dieses Gegenstandes für unsern Zweck zu viel Raum erfordern würde, so wird es genügen, die mit den Eulerschen im Wesentlichen übereinstimmenden Formeln aus Tredgold mitzutheilen, und für die praktische Anwendung brauchbar darzustellen.

Es liegt in der Natur der Sache, dafs die rückwirkende Festigkeit dem Querschnitte des Körpers und seiner Steifheit directe, seiner Länge aber umgekehrt proportional seyn mufs, wonach also

$$Q = \frac{k\,m}{n^r}$$

als die allgemeine Gleichung für dieselbe angesehen werden kann. Es ist indefs nicht einerlei, ob die zusammendrückende Last auf die Axe der Säule selbst drückt, oder in einem gewissen Abstande von derselben. Nehmen wir also hierauf Rücksicht, behalten wir ferner die oben gewählten Bedeutungen von W, b, h, l und f bei (h in derjenigen Richtung genommen, in welcher die Biegung erfolgen kann), und nennen den Abstand des gedrückten Punctes von der Axe, gleichfalls in rheinländischen Zollen, = a, denjenigen Theil der Länge aber, um welchen ein Prisma, dessen Querschnitt ein Quadratzoll ist, seine Länge als Einheit genommen, ausgedehnt wird, wenn es mit einer Last = f beschwert ist, = e, so ist für ein rechtwinkliches Prisma

$$W = \frac{f\,b\,h^2}{h + 6a + \frac{6\,l^2 e}{4\,h}} = \frac{f\,b\,h^3}{h^2 + 6\,a\,h + 1{,}5\,l^2 e}$$

---

1 Acta Acad. Pet. II. P. I. p. 121.

2 a. a. O. p. 409. ff.

und wenn a = 0 ist, oder der Druck die Axe selbst trifft, wie in vielen Fällen angenommen werden kann, so ist

$$W = \frac{f\,b\,h^3}{h^2 + 1{,}5\,l^2 e};$$

oder wenn man von einer in der praktischen Anwendung doch unerreichbaren Genauigkeit abstrahirt, insbesondere also mit Rücksicht auf diejenigen Fälle, in denen Pfeiler aufliegende Balken oder Gewölbbogen tragen sollen, wobei man in genähertem Werthe annehmen kann, dafs der stärkste Druck den Rand der oberen Durchschnittsfläche der Säule trifft, in welchem Falle $a = \frac{1}{2} h$ ist, wird

$$W = \frac{f\,b\,h^3}{4h^2 + 1{,}5\,l^2 e}$$

bei einem Cylinder, vom Durchmesser d, dessen Stärke gegen die einer quadratischen Säule, wenn sein Durchmesser der Seite eines Querschnittes der lezteren gleich ist, sich nahe genau wie 1 : 1,6 verhält, ist auf gleiche Weise in sehr genäherten Werthen:

$$W = \frac{f\,d^4}{1{,}6\,(d^2 + 6da + 1{,}5\,l^2 e)}$$

desgleichen für a = 0

$$W = \frac{f\,d^4}{1{,}6\,d^2 + 2{,}4\,l^2 e}$$

und für $a = \frac{1}{2} d$

$$W = \frac{f\,d^4}{6{,}4\,d^2 + 2{,}4\,l^2 e}.$$

In diesen Formeln werden die Gröfsen b, h, l und d in jedem einzelnen Falle der praktischen Anwendung gegeben, f aber kann aus der oben mitgetheilten Tabelle, und e aus der unten folgenden entnommen werden. Auf das eigene Gewicht der Säulen Rücksicht zu nehmen ist im Allgemeinen unnöthig. Sollte es aber geschehen, so müfste man annehmen, dafs die Biegung der Säulen durch ihre eigene Last in der Mitte bewirkt würde, und dafs demnach die Hälfte ihres Gewichtes auf ihre halbe Länge wirkte. Nach der oben gewählten Bezeichnung von w und w′ würde dann gleichfalls $\frac{2w' + w}{2} = W$ seyn, die Auflösung selbst

aber auf sehr verwickelte Formeln führen. Nennt man ferner, wie oben, m das Gewicht eines zölligen Würfels des zu berechnenden Körpers, q aber den Flächeninhalt des Querschnittes der Säule in Quadratzollen, so wäre $w' = \frac{1}{2} lmq$, und wollte man hiernach für $w' = 0$ die Höhe einer Säule finden, welche gerade stark genug wäre, ihr eigenes Gewicht zu tragen, so würde dieses auf die kubische Gleichung führen

$$l^3 + 10{,}66 \ldots \frac{d^2}{e} l = \frac{f d^4}{0{,}3\, e m q}.$$

Versuche über die rückwirkende Festigkeit längerer Säulen sind aufser von Musschenbroek noch angestellt durch Reynolds [1], Navier, Rondelet und Düleau, und in den oben angegebenen Werken derselben beschrieben.

B. Versuche über das Gewicht, wodurch Körper von nicht groſser Länge zerdrückt werden, sind verhältniſsmäſsig nur wenige angestellt. Ueber Guſseisen hat Reynolds [2] einige bekannt gemacht, noch mehrere aber stellte G. Rennie [3] an, welche indeſs keineswegs zur Begründung eines allgemeinen Gesetzes genügen. Die von ihm erhaltenen Resultate, nämlich die Zahl der Pfunde, wodurch ein Würfelzoll zerdrückt wird, auch hierbei auf rheinländisches Maſs und Berliner Gewicht reducirt, sind in der nachfolgenden Tabelle unter c aufgeführt, die Bedeutung von e aber ist oben angegeben.

Substanzen	e	c
Schmiedeeisen .	0,00071430	—
Guſseisen .	0,00082226	95719
Glockenspeise .	0,00104167	—
Messing . .	0,00075010	—
Zink . .	0,00023809	—
Zinn . .	0,00062500	—
Blei . .	0,00208334	—
Fischbein . .	0,00684931	—
Eiche, engl. geradfibrige,	0,00232556	—

1 Banks on the Power of Machines. p. 89.

2 Edinb. Encycl. art. Bridge. p. 544. Nicholsons J. XXXV. 4. Genauer bei Tredgold a. a. O. p. 98.

3 Phil. Trans. 1818. 1. Phil. Mag. LIII. 173.

Substanzen	e	c
Mahagoni, von Honduras,	0,00238095	—
Fichte, gelbe amerikanische,	0,00241304	—
Tanne, rothe,	0,00212766	—
— weiſse,	0,00198412	—
Lerchenbaum	0,00192308	—
Esche	0,00215517	—
Buche	0,00175439	—
Ulme	0,00241546	—
Kalkstein	—	516,0
Gebrannter Mauerstein	—	578,4
Granit	—	11229
Marmor	—	6237
Porphyr (nach Geauthy)	—	36608
Mauerstein, Portland stone	—	3838
— Craigleith stone		5650
— Dundee stone		6824

Unter diesen Angaben ist die von Geauthy ohne Zweifel etwas zu groſs, zugleich aber wären umfassende genaue Versuche gewiſs sehr wünschenswerth. Sollen die unter c mitgetheilten Gröſsen auf englische Zolle und Pfunde reducirt werden, so geschieht dieses durch Multiplication mit 0,97159, die Reduction auf Pariser Zolle und Pfunde durch Multiplication mit 1,02118, auf Centimeter und Kilogramme aber mit 0,063787.

Noch könnte hier die Festigkeit der Körper gegen Drehung betrachtet werden. Allein diese verdient, hauptsächlich wegen ihrer Anwendung, bei der Drehwaage eine besondere Untersuchung [1]. *M.*

Collectivglas.

Sammelglas; ***vitrum colligens;*** **verre collective.** Eigentlich ist jedes convexe Glas, welches die Strahlen näher zusammenbringt, ein Collectivglas; man versteht darunter aber vorzugsweise ein solches, das die durch ein anderes Glas schon convergent gemachten Strahlen noch stärker convergirend macht, und in einen nähern Brennpunct vereiniget [2]. *B.*

---

1 S. *Drehung.*

2 Vergl. *Brennglas.* I. 1205. u. *Fernrohr.*

Collector.

Collector der Elektricität, Elektricitätssammler; *Collector*; Collecteur; *Collector.*

Diesen Namen führt ein von Cavallo erfundenes, auf das Princip der elektrischen Atmosphärenwirkung und der davon abhängigen elektrischen Vertheilung gegründetes Instrument zur Entdeckung der sonst unmerklichen Grade von Elektricität durch Sammlung und Verdichtung derselben, das im Grunde nichts anders als eine Modification des Volta'schen Condensators ist.

Bennet und Cavallo bemerkten bald nach Erfindung des Elektricitäts-Verdopplers oder Duplicators [1], daſs wenn man die Operation mit ihm vornimmt, auch ohne zuvor Elektricität hinzuzuführen, dieses Instrument dennoch stets Elektricität zeigt. Bennet stellte einige schätzbare Versuche an, um die Ursache dieser gleichsam von selbst sich erzeugenden Elektricität und Mittel gegen die daraus entspringende Unzuverläſsigkeit beim Gebrauche des Duplicators aufzufinden, und Cavallo legte der Societät der Wissenschaften zu London im Jahre 1788 die Beschreibung eines neuen Instruments vor, welches er einen *Collector* oder *Elektricitätssammler* nannte und das seiner Versicherung nach jener Unvollkommenheit nicht unterworfen seyn sollte.

Fig. 47 und 48 Die beiden perspectivischen Zeichnungen stellen das Instrument dar, die eine in dem Zustande, die Elektricität zu sammeln, die andere in dem Zustande, die gesammelte Elektricität bemerkbar zu machen. Die nämlichen Buchstaben bezeichnen dieselbigen Theile in beiden Figuren; a b c d ist eine ebene Zinnplatte, 13″ lang und 8″ breit. An den kurzen Seitenrändern sind zwei zinnerne Röhren a d und b c angelöthet, die an beiden Enden offen sind; d e und c f sind zwei Glasfüſse, die mit Siegellack durch Hülfe der Wärme (nicht des Weingeistes, welches nur eine unvollkommene Isolirung gewährt) überzogen sind. Sie sind in die unteren Oeffnungen der zinnernen Röhren und eben so in den hölzernen Untersatz der Ma-

1 S. *Duplicator.*

schine bei e und f eingekittet, dergestalt, dafs die Zinnplatte durch die Glasröhren vertical getragen wird, und völlig isolirt ist; g h i l q r und n o p v sind zwei hölzerne Rahmen, welche an das hölzerne Bodenstück befestigt sind, und durch Hülfe messingener Scharniere k, m entweder parallel mit der zinnernen Platte gestellt, oder geöffnet und auf das Bodenstück gelegt werden können. Ueber die innere Seite der Rahmen wird von der Mitte ihrer Höhe, wo der untere Rand der Zinnplatte gegenüber steht, Stanniol x, y mit aller Sorgfalt aufgeklebt, dafs er vollkommen eben anliege. Wenn die Rahmen vertical stehen, so berühren sie die Zinnplatte nicht, sondern stehen ungefähr 0″,2 davon ab. Sie sind auch etwas schmäler als die Zinnplatte, um die zinnernen Röhren a d, b c nicht zu berühren. In der Mitte des Obertheiles jedes Rahmens befindet sich ein kleines hölzernes Brett s und t mit einer messingenen Klammer, durch welche die Rahmen in der Höhe befestigt werden, und welche zugleich verhindert, dafs sie der Zinnplatte nicht zu nahe kommen können. Man sieht leicht, dafs wenn die Rahmen vertical gerichtet sind, die Flächen des Stanniols x, y gleichlaufend und parallel mit der Zinnplatte sind.

Wenn das Instrument gebraucht werden soll, so stellt man es auf einen Tisch oder einen andern bequemen Ort. Man stellt irgend ein empfindliches Elektrometer, wie das *Bennet'sche* oder *Bohnenberger'sche*, daneben, und bringt es durch einen Metalldraht mit einer von den zinnernen Röhren a d, b c in leitende Verbindung. Man veranstaltet eine andere leitende Verbindung zwischen der Zinnplatte und dem Elektricitätsquell, dessen Elektricität man in der Zinnplatte a b c d sammeln und verdichten will [1]. Nachdem diese Verbindung nach den Umständen mehr oder weniger lange bestanden hat, hebt man die Verbindung auf, und legt die Seitenrahmen einen nach dem andern nieder, worauf dann das Elektrometer durch die Divergenz der Goldblättchen, oder bei Anwendung des Bohnenberger'schen durch die Bewegung nach der einen oder andern Seite Elektricität anzeigen wird, auch wenn ihre ursprüngliche Spannung noch so gering war, wenn nur ein hinlänglicher Vor-

---

1 Vergl. *Condensator.*

rath von Elektricität von dem Elektricitätsquell aus, den man prüft, hinzuströmen konnte. Sollte jedoch die Zinnplatte des Collectors keine Elektricität durch das Elektrometer verrathen, so kann man einen kleinern Collector, nämlich einen solchen, dessen Zinnplatte ohngefähr 4 Quadratzolle hat, mit der Zinnplatte des größeren, worin man zuvor auf die angegebene Weise die Elektricität angesammelt hat, in Berührung bringen, während bloſs die Seitenrahmen des letzteren angelegt sind. Wenn alsdann der kleine Collector von dem gröſseren entfernt wird, seine Seitenrahmen nun erst niedergelegt werden, und seine Zinnplatte mit einem empfindlichen Elektrometer in Berührung kommt, so wird dieses dann in manchen Fällen noch deutliche Spuren von Elektricität verrathen, und eine am gröſseren Collector zwar nur sehr schwach wahrgenommene Elektricität wird jetzt sehr verstärkt erscheinen.

Das Princip des Collectors ist ganz übereinstimmend mit demjenigen des Condensators. Der Collector ist nämlich im Wesentlichen nichts anderes als ein Condensator, bei welchem statt einer Schicht von Harzfirniſs, wie sie bei den gewöhnlichen Condensatoren angewandt wird, um den Uebergang der Elektricität von der Collector-Platte nach der gegenüberstehenden Platte zu verhindern, und bloſs die vertheilende Wirkung eintreten zu lassen, eine dünne Luftschicht zu Hülfe genommen ist, welche Lichtenberg auf eine etwas andere Weise schon früher in Vorschlag gebracht hatte. Doch scheint eine Entfernung von 0″,2 zwischen der mittleren Zinnplatte und den beiden Seitenplatten zu groſs, und die condensirende Wirkung möchte bei einer solchen Distanz kaum eine funfzigfache Erhöhung der ursprünglichen Spannung der Elektricität herbeiführen, wenn auch die Elektricität aus einem unerschöpflichen Quell hinzuströmte. Indessen könnte man leicht bei dem Collector die Einrichtung so veranstalten, daſs die Seitenrahmen etwa durch eine gezahnte Stange der mittleren Platte beliebig selbst bis auf 0,1 einer Linie genähert, und die Condensation von verschiedener Stärke erhalten werden könnte. Immer wird es aber in der Ausführung groſse Schwierigkeiten haben, den vollkommenen Parallelismus der Platten, worauf es doch hierbei wesentlich ankommt, zu erhalten. Leicht werden sich solche hölzerne Rahmen durch den Einfluſs der Feuchtigkeit und

Trockenheit werfen, womit von selbst jener Parallelismus aufhört, wenn er auch bei der ersten Einrichtung statt fand. Uebrigens gewährt der Collector Cavallo's den Vorzug vor dem gewöhnlichen Condensator mit einer einzelnen, der Collectorplatte gegenüberstehenden Scheibe, dafs bei übrigens gleich condensirender Kraft *der einzelnen Platte* die doppelte Wirkung hervorgebracht wird, weil jede Platte oder jeder Rahmen seiner Seite ein gleiches Quantum Elektricität bindet, das folglich beim Zurückschlagen der beiden Rahmen zu gleicher Zeit in Freiheit gesetzt, die doppelte Spannung am Elektrometer geben mufs, vorausgesetzt, dafs die Zinnplatte ihre Elektricität aus einem unerschöpflichen Elektricitätsquell erhält, oder wenigstens einen solchen, der in Beziehung auf die gegebene Capacität der Zinnplatte (abhängig von der Gröfse und der condensirenden Kraft derselben) hinlänglich viele Elektricität hergeben kann, ohne dafs die elektrische Spannung des Körpers, der die Elektricität hergiebt, merklich abgenommen hätte.

Cavallo erläutert die Wirkung und den Gebrauch dieses Instruments durch einige Versuche, welche auch zur Erläuterung der Wirkungsart des Condensators dienen [1]. *P.*

Collimation.

Collimatio; Collimation; *Collimation*; (von *collimare* oder *collineare*, nach etwas zielen; eigentlich: das Zusammenfallen zweier Linien.) So heifst an einem Winkelmesser die Uebereinstimmung der Angabe der Eintheilung mit der wirklichen Gröfse des gemessenen Winkels. Sie kann nur da in Betracht kommen, wo die Visirlinie auf eine andere, als Normalrichtung angenommene, Linie bezogen wird, welche leztere auf dem Instrumente mit dem Anfangspuncte der Theilung zusammenfallen mufs. Bei den Höhenmessungen mit Quadranten und Kreisen ist dieses die *Horizontallinie*, bei den Zenithdistanzen die *Verticallinie*; bei Spiegelsextanten ist es die Richtung

---

1 Vergl. *Condensator*. Man findet diesen Apparat beschrieben in Philos. Transact. LXXVIII. P. II. Daraus übersetzt in Grens J. I. 275. u. f. Vergl. G. IX. 121.

des kleinen Spiegels, mit welcher diejenige des grofsen verglichen wird. Jede Winkelmessung erfordert zwei Visirlinien; bei terrestrischen Winkelmessungen wird das Fernrohr durch zwei abgesonderte Beobachtungen erst an die Richtung der Einen, dann in die der Andern gebracht, der Unterschied beider Richtungen auf der Eintheilung giebt die Gröfse des Winkels zu erkennen. Hier kann also von keinen Untersuchung der Collimation die Rede seyn. Anders verhält es sich bei den erwähnten zusammengesetzten Beobachtungen, bei welchen es nur einer einzigen Visirung bedarf, weil die andere, als durch die Einrichtung oder Stellung des Instruments bereits gegeben, angenommen wird. Fällt die Richtung des Fernrohres mit dieser zusammen, so ist der Winkel Null, und der Anfangspunct des Vernier mufs sich auf dem Nullpuncte der Eintheilung befinden. Ist dieses nicht der Fall, so hat das Instrument einen *Collimationsfehler* (Erreur de Collimation), und es wird alle mit demselben gemessenen Winkel um ein gewisses Quantum zu grofs oder zu klein angeben.

Die Bestimmung des Collimationsfehlers setzt also die Kenntnifs des wahren Winkels (der Höhe oder Zenithdistanz) voraus, mit welcher die Angabe der Vernier verglichen werden mufs. Hierzu giebt es zweierlei Wege: Das Umwenden der Instrumente und die Höhenmessung mit dem künstlichen Horizonte. (Fig. 49) Gesetzt man habe mit einem Kreise die Zenithdistanz AQ eines Sterns beobachtet in derjenigen Stellung, da die Eintheilung gegen Osten gekehrt war. Wendet man nun das Instrument entweder um die verticale Axe PQ oder um die horizontale (Fig. 50) HO um 180°, so dafs die Eintheilung nach Westen zu stehen kommt, so wird man das Fernrohr aus der Richtung Aa in die Lage Bb bringen müssen, um auf den nämlichen Stern zu visiren, und die neue Zenithdistanz wird dem Bogen BQ gleich seyn. Die Alhidade hat mithin den Bogen AB durchlaufen, welcher die doppelte Zenithdistanz ausmacht. Der wahre Winkel ist mithin $= \frac{1}{2}$ AB, mit welchem die abgelesenen Winkel AQ und BQ verglichen werden müssen. Zeigt das Instrument den Winkel AQ gröfser als $\frac{1}{2}$ AB, so mufs BQ um eben so viel kleiner als $\frac{1}{2}$ AB seyn, und $\frac{AQ - BQ}{2}$ ist der Collimations-

fehler des Kreises, — für die Winkel bei ostwärts sehendem Limbus, + für diejenigen in der entgegengesetzten Stellung. Ob die Wendung um die verticale Axe P Q oder um die horizontale H O geschehe, ist gleichgültig, und hängt von der Einrichtung des Instrumentes ab. Die letztere Methode, bei den französischen *Bordakreisen* und bei den kleinen Quadranten gebräuchlich, ist ein eigentliches *Umkehren* des Instruments und heifst Rectification par *renversement*. Die Wendung um die verticale Axe hingegen (rectification par *retournement*), ist auch bei gröfsern Quadranten, Mauerquadranten, grofsen Meridiankreisen, den *Bohnenbergerschen* und *Reichenbachschen* Wiederholungskreisen, und bei den Zenithsectoren anwendbar. Um an Quadranten auch bei umgekehrter Lage noch kleine Zenithdistanzen messen zu können, wurde die Theilung noch jenseit des Punctes Q um einige Grade fortgeführt. Bei grofsen Werkzeugen dieser Art konnte die Umwendung wegen mancherlei Schwierigkeiten nur selten, oft nur halbjährlich vorgenommen werden, auch bei den Kleinern wartete man gewöhnlich die folgende Culmination ab. Da aber selbst bei einem täglichen Umwenden (geschweige denn in einer Periode von Wochen und Monaten) leicht zufällige Störungen das Instrument verrücken können, so schlägt LITTROW vor [1], bei Kreisen, die sich leicht und genau umdrehen lassen, die Collimation mit Hülfe des Polarsterns zu bestimmen, indem man denselben sogleich nach einander in beiden Lagen beobachtet. Bei der langsamen Bewegung dieser Sterne kann man beide Höhen leicht auf die Mittelzeit der Beobachtungen reduciren, so dafs sie als gleichzeitige Messungen erscheinen, und ihr Unterschied giebt den Collimationsfehler. Gesetzt, es seyen drei Beobachtungen in der einen Lage des Instruments, und gleich nachher drei andere in der andern Lage gemacht worden; das arithmetische Mittel aller Beobachtungsmomente sey T, und dT bezeichne die Abstände jeder einzelnen Beobachtung von dieser Mittelzeit. Zieht man von T die gerade Aufsteigung des Polarsterns ab, so erhält man seinen Stundenwinkel t. Mit

---

1 Schumacher's Astron. Nachr. I. 113.

diesem, seiner Polardistanz p, und der Breite φ findet man die Höhenänderung m für 1 Zeitminute durch folgende Formel:

$m = 900. \text{Sin p. Sin t} + 900. \text{Sin p. Sin t} \times \text{Sin p. Cos t. Tang. } \varphi$; das Zeichen + gilt für die Stundenwinkel von 18^h bis 24^h, und von 0^h bis 6^h; — für diejenigen von 6^h bis 18^h. Die Werthe des erstern Gliedes gehen nicht über 26″; die des Letztern bei 40° Breite nicht über 0,″30; bei 60° nicht über 0,″60. Indem man nun die in Minuten und ihren Decimaltheilen ausgedrückten Zeitabstände d T mit m multiplicirt, erhält man die Verbesserung jeder einzelnen Höhe.

Bei groſsen und festen Instrumenten, wie z. B. bei Mauerquadranten kann das Umwenden nur selten und meist nicht ohne nachtheilige Erschütterungen und Dehnungen des Instrumentes vorgenommen werden. Man nahm daher ein Instrument von eben so groſsem Radius, aber kürzerm Gradbogen, den sogenannten *Zenithsector* zu Hülfe, der an einer verticalen Axe befestigt, sich leicht umwenden lieſs. Mit diesem beobachtete man in beiden Lagen einige Sterne nahe am Zenith, und verglich mit dem Resultat dieser Zenithdistanzen die Angaben des auf eben diese Sterne gerichteten Fernrohrs am Quadranten.

Im J. 1809 gab Bessel [1] eine andere Methode an, die *wahre Höhe* eines Gestirns auch ohne Zenithsector zu finden, um dann mit dieser die Angabe des Quadranten zu prüfen. Es ist die nämliche, welche man seither auf den Sternwarten von Göttingen und Greenwich angewandt hat, um an groſsen Meridiankreisen mit Beseitigung des Collimationsfehlers und der schwierigen Einstellung der Wasserwaage sehr genaue Höhenbestimmungen zu erhalten. Sie besteht in der Anwendung eines künstlichen Horizonts, namentlich einer hinlänglich breiten Wasser- oder Quecksilberfläche. In diesem horizontalen Spiegel erblickt der Beobachter das Bild des Gestirnes eben so viele Grade *unter* dem Horizonte, als es ihm directe gesehen *über* demselben erscheint: der Winkel zwischen diesen beiden Objecten ist die Summe ihrer Elevation und Degression; mithin genau der doppelten Höhe gleich. Da der Quadrant keine De-

---

1 Bode Astron. Jahrb. f. 1812. p. 148. und Monatl. Corresp. XX. p. 87.

gressionen zu messen erlaubte, so schlug Bessel vor, am Fernrohr desselben von dem Objectiv einen vorwärts geneigten Planspiegel zu befestigen, der mit der Axe des Fernrohrs einen Winkel von etwa $22\frac{1}{2}$ Graden bildete, und auf der Ebene des Quadranten senkrecht stand. Um mit diesem Apparate einen Stern zu beobachten, der in 45° Höhe stand, muſste man das Fernrohr auf 67°,5 Höhe stellen, wenn man seinen Erhöhungswinkel, und auf 22°,5, wenn man die Degression des Bildes im künstlichen Horizonte bestimmen wollte. Der halbe Unterschied beider Messungen gab die wahre Höhe des Sterns, und diese verglichen mit der Angabe des Instruments bei der Beobachtung ohne den küstlichen Horizont, zeigte die Verbesserung aller übrigen mit dieser Einrichtung gemessenen Höhen oder Zenithdistanzen. Da die beiden Beobachtungen nicht im nämlichen Momente angestellt werden können, so erhält man, wenn der Quadrant im Meridian steht, die wahre Zenithdistanz Z durch folgende Formel, in welcher z' die aus dem Horizonte, z die direct mit dem Spiegel beobachtete Distanz, t' der Stundenwinkel der erstern, t derjenigen der andern Beobachtung und δ die Declination des Strens bezeichnet:

$$Z = 90° - \tfrac{1}{2}(z' - z) - \tfrac{1}{4}\sin. 1''\,(t'^2 + t^2)\cos.\delta.\sin.\delta.$$

Ein kleiner Fehler in der Lage des Spiegels gegen die Ebene des Quadranten ist, wie Bessel zeigt, von geringem Einfluſs. Der Winkel, welchen er mit der Axe des Fernrohrs bildet, ist willkührlich, und kann absichtlich verändert werden, um bei der directen Beobachtung die Alhidade auf andere Stellen des Quadranten zu bringen, und so die Fehler einzelner Theilstriche zu prüfen.

Beim Spiegelsextanten und den Spiegelkreisen muſs der Index des Vernier auf Null stehen, wenn beide Spiegel einander parallel sind. Alsdann fällt das reflectirte Bild mit dem directe gesehenen zusammen, und man sieht nur Ein Bild. Die Entfernung dieses Obiectes muſs aber über 5000 Fuſs betragen, damit nicht die Distanz der beiden Spiegel, die 2 bis 3 Zolle beträgt, eine merkbare Parallaxe veranlasse. Gewöhnlich bedient man sich der Sonne zu dieser Prüfung des Nullpunctes, und zwar nicht durch volle Bedeckung der beiden Bilder, sondern, indem man zu beiden Seiten des Nullpuncts den Durchmesser der Sonne miſst: der halbe Unterschied beider Angaben

giebt den Collimationsfehler oder Indexfehler des Sextanten. Man findet an einigen ältern Instrumenten dieser Art eine Einrichtung, um durch Drehung des kleinen Spiegels den Indexfehler ganz aufzuheben. Allein dieses Verfahren ist fehlerhaft, indem dadurch andere Strahlen, als diejenigen, welche von der *Mitte* des grofsen Spiegels ausgehen, in das Fernrohr reflectirt werden. Besser wäre es, den grofsen Spiegel ein wenig drehbar zu machen. Allein alle diese Künsteleien vermehren nur die Wandelbarkeit des Instruments, und es ist rathsamer, einen gröfsern beständigen Indexfehler in Rechnung zu bringen, als die Winkel durch eine unsichere von + zu — schwankende Correction unzuverlässig zu machen. Die Veränderlichkeit des Indexfehlers, über welche verschiedene Beobachter (unter Andern Rüppell [1]) Klage geführt haben, rührt hauptsächlich von mangelhafter Befestigung kleiner Schrauben und den Schwankungen des Fernrohrträgers her, und ein solid gearbeiteter, gut behandelter Sextant kann Jahre lang seinen Indexfehler bis auf wenige Secunden unverändert erhalten. Bei Spiegelkreisen, so wie auch bei den oben erwähnten Wiederholungskreisen vermeidet man die Bestimmung des Collimationsfehlers dadurch, dafs man durch abwechselndes Umwenden des Instruments den Winkel bald vorwärts bald rückwärts mifst, wodurch jener Fehler in der Lage des Index sich gegenseitig aufhebt.

Zufolge einer kurzen Nachricht [2] hat neulich Kater unter dem Namen *Floating Collimator* ein Werkzeug vorgeschlagen, die Collimation der Kreise zu bestimmen. Er vereinigt in demselben die von Gauss gemachte Bemerkung, dafs man das Fadennetz eines Fernrohrs durch das Objectiv desselben mit einem andern Fernrohre sehen kann, mit der Eigenschaft der schwimmenden Körper, auf einer Flüssigkeit sich immer, in jeder Lage, unter dem nämlichen Neigungswinkel einzusenken. Sein *Collimator* ist demzufolge ein Fernrohr auf einem länglichen Stück Eisen befestigt, das auf Quecksilber schwimmt, und hinreichend schwer ist, um den kleinern Zitterungen zu widerstehen. Er wird auf einem Gestelle bis zur Höhe des Fernrohrs

1 Corresp. Astron. IX. p. 37.
2 Corresp. Astron. XII. 89.

am Kreise, dessen Collimation man ausmitteln will, erhoben, und demselben in zwei entgegengesetzten Richtungen gegenüber gestellt. Mit unverrücktem Kreise mifst man sodann die Zenithdistanzen des Fadenkreuzes im Collimator in beiden Stellungen: ihr halber Unterschied giebt den Collimationsfehler. Die Resultate sollen sehr sicher und genau seyn. *H.*

Commutationswinkel.

Commutatio; Angle de Commutation; *Angle of Commutation.* Wenn man sich den Ort eines Planeten auf die Ekliptik projicirt denkt und von diesem projicirten Orte eine gerade Linie nach der Sonne zieht, so heifst der Winkel, den diese mit dem Radius Vector der Erde macht, der Commutationswinkel. Dieser ist also gleich dem Unterschiede der heliocentrischen Länge der Erde und des Planeten. *B.*

Comparateur.

Ein Vergleicher linearer Mafse. Die im Anfange dieses Jahrhunderts in Frankreich versuchte Einführung neuer Mafse und Gewichte, die Berichtigung und genauere Bestimmung der bestehenden in andern Ländern, und die Vergleichung der Längenmafse zum Behuf geodätischer Arbeiten, machten ein Instrument nothwendig, durch welches solche Mafse mit aller nur erreichbaren Genauigkeit unter sich verglichen werden konnten. Hierzu dienen alle diejenigen Mittel, welche zur Messung kleiner Verlängerungen bei den pyrometrischen Untersuchungen zur Sprache kamen [1]; vorzüglich ***Fühlhebel***, ***Mikrometerschrauben***, und ***Mikroskope***. Zugleich ist hierbei die Art zu berücksichtigen, nach welcher ein Mafs gegeben wird. Ein Längenmafs kann nämlich die *ganze Länge* eines Stabes einnehmen, so dafs seine Endkanten die Grenzen des Mafses sind; es kann aber auch *auf* einem Stabe durch feine Puncte oder Striche bezeichnet werden. Die Franzosen nennen das Erstere *étalon à bouts*; das Letztere *étalon à traits*. Jene waren früher von allgemei-

---

1 S. *Ausdehnung*.

Fig. 51 neren Gebrauch. Der Stab A A' wurde genau in einen andern Stab B B' b eingepaſst, dessen Enden unter einem rechten Winkel scharf umgebogen waren. Beide Lineale waren genau von gleicher Dicke, so daſs ihre Berührung bei c d eine scharfe Linie bildete. Die Schwierigkeit, solche Stäbe auf die erforderliche Länge und nach allen Seiten ganz winkelrecht auszugleichen, die Klemmung und Federung, die bei diesem Einpassungssysteme unvermeidlich sind, und die leicht mögliche Verletzung der scharfen Enden scheinen der Methode, durch feine Striche die Grenzen eines Maſses zu bezeichnen, einige wesentliche Vorzüge einzuräumen.

Das erste Werkzeug, zur Vergleichung der Maſse, wurde von Lenoir, im J. 1792, verfertigt. Es bestand aus einem starken messingenen Lineal von 13 Fuſs Länge, mit einem Schieber, auf welchem Zehntausendtheile der Toise (etwa $\frac{1}{12}$ Linie) gezogen waren. Mit Hülfe von Verniers, die in verschiedenen Zwischenräumen am groſsen Lineal angebracht waren, konnte man noch Zehntheile jener Eintheilung oder $\frac{1}{100000}$ der Toise (etwa $\frac{1}{116}$ Lin.) ablesen, und die Schärfe der Striche erlaubte noch Milliontheile durch Schätzung zu bestimmen. Mit diesem Instrumente hatten Borda und Lavoisier die Länge der Kupfer- und Platinstäbe, die sowohl zur Basismessung als für die Bestimmung des Secundenpendels dienten, bestimmt. Die Einführung des metrischen Systems, im J. 1802, machte noch eine gröſsere Genauigkeit wünschbar, und Lenoir erreichte diese durch Anbringung eines Fühlhebels, dessen kürzerer Schenkel den eben erwähnten Schieber berührte, während dem der längere auf einem in 100 Theile getheilten Kreisbogen, vermittelst eines Verniers, Milliontheile der Toise angab. Die Axe dieses Hebels war vertical, und ging zwischen zwei Spitzen; eine starke Feder drückte den längern Hebel auf den Anfang des Sectors zurück [1]. Später verfertigte Lenoir noch ein zweites Instrument dieser Art, das eine Genauigkeit von $\frac{1}{2000}$ Lin. gab, und welches ihm bei Gelegenheit einer öffentlichen Ausstellung die goldene Medaille erwarb.

---

1 S. die Beschreibung und Abbildung dieses Comparateurs in der Base du Système métrique III. 447. u. Bibl. Britan. XIX. 301.

Ungefähr um die nämliche Zeit brachte Pictet einen andern Vergleicher aus London nach Paris, den man einen *Dioptrischen Stangencirkel* nannte, weil er zwei parallel stehende Mikroskope enthielt, die an einem messingenen Stabe vermittelst Hülsen, wie die Spitzen eines Stangencirkels verschieblich waren. Im Brennpuncte der Mikroskope befand sich ein Querfaden, welcher durch eine Mikrometerschraube verschoben werden konnte, die $\frac{1}{10000}$ des englischen Zolles, (etwa $\frac{1}{900}$ der Par. Linie) angab. Mit diesem Werkzeuge bestimmte damals Prony das Verhältnifs des Meters zum Englischen Fufs, und zur Toise von Peru, übereinstimmend mit den Angaben des Comparateurs von Lenoir.

Mehrere Jahre später gab Prony [1] ein Instrument an, bei welchem nur ein Mikroskop nebst einer feinen auf Glas geritzten Scale gebraucht wird, die Hunderttheile von Millimetern angiebt. An dem einen Ende eines Messingstabes befindet sich ein festes Anhaltstück von Stahl, mit welchem die Endkante des zu vergleichenden Mafses in Berührung gebracht wird; am andern Ende ist das Glasmikrometer befestigt, auf welches die Axe des Mikroskops gerichtet ist. Der Träger des Mikroskops läfst sich durch eine Schraube nach der Richtung des Stabes verschieben, um den Kreuzfaden im Brennpuncte des Objectivs auf den Anfangsstrich des Mafsstabes richten zu können. Man legt alsdann das Urmafs auf den Stab, stemmt es gegen den Pfosten am Ende desselben, und bringt den Querfaden des Miskroskops auf den Theilstrich, der die Grenze des Mafses bezeichnet. Nach Hinwegnahme desselben bemerkt man die Stelle des Querfadens in dem Glasmikrometer, welches zwischen dem Objectiv und dem Erleuchtungsspiegel sich befindet. Das zweite Mafs, auf die nämliche Weise hingelegt, wird, wenn es mit dem Erstern nicht übereinstimmend ist, eine Verschiebung des Mikroskops nöthig machen, und diese wird nach Hinwegnahme des Mafses die Zahl von Hunderttheilen eines Millimeters auf der Glasscale angeben, um welche der Querfaden des Mikroskops versetzt werden mufste. Prony rühmt die Wohlfeilheit und Tragbarkeit dieses Apparats, der

---

1 S. die höchst undeutliche Beschreibung aus einer Engl. Zeitschrift in G. LII. 329.

in ein Futteral von der Grösse eines Quartbandes verpackt werden könne.

Aehnlich mit dem oben beschriebenen Vergleicher Pictets von Troughton, ist derjenige, mit welchem im J. 1818 Kater die Länge des Secundenpendels und die Gröfse zweier von Paris erhaltener Meter untersuchte [1]. Zwei Mikroskope von etwa 20maliger Vergröfserung an ein Brett von trocknem Mahagoniholz von etwa 4 F. Länge, bei 5 Z. Breite, und 3 Z. Dicke, in der gehörigen Entfernung festgeschraubt; sie trugen sich schräg durchkreuzende Spinnefäden in ihrem Brennpuncte, und der Kopf der Mikrometerschraube, durch welche diese verschoben wurden, war in 100 Theile getheilt. Versuche durch directe Ausmessung, auf einer in Zehntelzolle eingetheilten Scale, gaben 233,63 Umläufe auf den Zoll, so dafs also das Mikrometer $\frac{1}{23363}$ des Zolles, (etwa $\frac{1}{1800}$ einer Par. Linie) angab. Nachdem man durch gehörige Entfernung des Mikroskops vom Object jede optische Parallaxe beseitigt hatte, gaben verschiedene Einstellungen des Fadenkreuzes, auf eine unterlegte feine Linie, immer das nämliche Resultat, so dafs man gewifs war, die durchs Mikrometer angegebene Grenze der Genauigkeit zu erreichen. Endlich wurden die Gänge der Schraube untersucht, indem man die unter das Mikroskop gelegte Distanz zweier Linien (von etwa $\frac{1}{4}$ Lin.) mit 20 verschiedenen Stellen der Schraube mafs. Die Gröfse der Gänge war, wie dieses meistens der Fall ist, allerdings zunehmend, doch so, dafs auf etwa 50 Gänge die Ungleichheit nur $\frac{1}{100}$ eines Ganges betrug. Der zu vergleichenden Meter waren zwei; ein Mètre à bouts aus Eisen, und ein Mètre à traits aus Platin, beide mit dem Namen des Verfertigers Fortin. Das Erstere hielt 39,37076 engl. Zolle nach Shuckburgh's Scale gemessen, das Letztere 39,37081 bei 0° Wärme. Sechszehn Jahre früher hatte Prony die Länge des Mètre nach dem von Pictet gebrachten Etalon, das eine Copie desjenigen von Shuckburgh seyn sollte, zu 39,3827 Engl. Zollen bestimmt.

Den hier gelieferten Beschreibungen zufolge, scheint der engl. Comparateur mit zwei Mikroskopen, von denen das eine

1 Philos. Transact. for 1818. p. 49 u. 108. im Auszuge in d. Bibl. Univers. X. 1.

einen *beweglichen* Faden mit möglichst feiner Mikrometerschraube enthalten mufs, das vorzüglichere Instrument zu seyn. Er ist auf beide Arten der Mafsbegrenzung, (mit Strichen oder durch Kanten) anwendbar, dahingegen der Fühlhebel nur bei der Letztern gebraucht werden kann. Sollte die Messung der Kanten, durchs Mikroskop, einige Schwierigkeit darbieten, so läfst sich diese leicht beseitigen, wenn man nach Kater ein eben so scharfkantiges Metallstück von gleicher Dicke an das Ende des Stabes andrückt, da dann die feine Fuge als ein Strich erscheint. Wesentlich ist beim Gebrauch dieses Instruments die Entfernung aller Parallaxe. Diese erreicht man dadurch, dafs man den Abstand des Objects vom Mikroskop so lange verändert, bis ein Punct desselben immer vom Faden bedeckt bleibt, wenn man auch das Auge vor dem Ocular hin und her bewegt. Wie man nach Prony mit einem einzigen Mikroskop die Distanz zweier Endstriche eines Mafses messen könne, ist wenigstens aus der gegebenen Beschreibung nicht deutlich zu ersehen [1]. *H.*

Compafs.

Boussole; *Pyxis nautica*, *Versorium;* Boussole; *Compafs.* Die horizontal schwebende Magnetnadel in einem Kästchen eingeschlossen, und mit einer Kreiseintheilung versehen. Er dient um die Abweichung irgend einer Richtung von derjenigen des magnetischen Meridians anzugeben, und ist durch diese Eigenschaft der unentbehrliche Wegweiser der Seefahrer, und ein bequemes Werkzeug für den Landmesser geworden.

Wann, und von wem der Compafs erfunden worden sey, ist unbekannt. Fauchet [2] führt einige Verse aus dem Roman von der Rose des Guiot de Provins an, eines Dichters, der im Jahre 1181 am Hoflager Kaiser Friedrichs I. zu Mainz sich befand, in welchem des Magnets, unter dem auffallenden Namen *Marinette*, „als eines häfslichen schwarzen Steines gedacht „wird, an den das Eisen sich gern anlege." Gemeiniglich legt

1 Die einfachste Einrichtung solcher mikrometrischen Mikroskope sehe man im Art. *Mikrometer*.

2 in s. antiquités: Origine de la langue et poésie française.

man die erste Erfindung dem Flavio Gioja, einem Neapolitaner zu, der ums Jahr 1302 lebte; wirklich soll sein Geburtsort einen Compafs im Wappen führen. Er theilte seinen Compafs in acht Striche. Gilbert jedoch behauptet, der Venetianer Marco Polo habe den Compafs aus China gebracht; und wirklich bedienten sich früher die Venetianer der nämlichen Einrichtung, wie vordem die Chinesen, nämlich den Magnet auf einem Stück Kork schwimmen zu lassen. Nach Fournier [1] soll der Name *Calamita*, der sonst dem Magnet beigelegt wird, einen grünen Frosch bezeichnen, weil man schon im 12ten Jahrhundert den Magnet auf Kork oder Strohhalmen auf dem Wasser schwimmen liefs. Die Chinesen theilen ihren Compafs in 24, die Japaner in 12 Theile. Der Aufschwung, den die Schifffahrt gegen das Ende des sechszehnten Jahrhunderts erhielt, brachte auch diesem Gegenstande bedeutende Verbesserungen. Besonders trug dazu die Entdeckung der magnetischen Abweichung, und die, auf den Glauben an ihre Unveränderlichkeit gegründete Hoffnung, durch sie die Längen zur See zu finden, wesentlich bei [2]. Doch wurden schon damals, im 16ten Jahrhundert, die Compasse nicht blos nach *Strichen* oder *Rhumben*, sondern nach Graden und halben Graden eingetheilt, und mit Dioptern versehen; auch beobachtete man, gröfserer Genauigkeit wegen, zugleich mit mehreren Compassen [3]. Mehrere Nationen machen Anspruch auf die Ehre, an dieser wichtigen Entdeckung etwas gethan oder verbessert zu haben. Die Italiäner rühmen sich der Erfindung, die Engländer haben die schwebende Aufhängung des Seecompasses angegeben, von den Holländern kommen die bequemen Namen der Weltgegenden auf der Windrose her, und Franzosen wollen wenigstens die Lilie, welche man dem Nordstriche beisetzt, gegeben haben.

---

1 Hydrographie 2de Ed. p. 399.

2 S. *Abweichung*.

3 Siehe die Bemerkungen in dem Routier aux Indes Orientales, des Portugiesischen Piloten Alexis da Motta vom Jahr 1575, und in der Reise des General Beaulieu nach Ostindien, im Jahr 1620, der mit sechs Compassen beobachtete. Thevenot, Relation de divers voyages curieux, qui n'ont point été publiés. Paris. 1672. fol. Vol. II.

Einrichtung des Compasses.

Je nach den verschiedenen Anwendungen ist die äufsere Einrichtung des Compasses verschiedenen Veränderungen unterworfen. Man unterscheidet nämlich den Schiffscompafs, den Azimuthalcompafs, den Compafs der Ingenieure, und denjenigen der Bergleute. Bei allen ist *die Nadel* in ihrer Mitte mit einem Hütchen versehen, welches auf der Spitze eines aufrechten Stiftes, den man zuweilen den Gnomon heifst, schwebt. Die innere Höhlung dieses Hütchens ist meist konoidisch, um eine allzustarke Excentricität der Nadel zu verhindern; und der Unterstützungspunct kommt ein wenig über der Ebene der Nadel zu liegen. Einzig die Chinesen bringen die Nadel, die freilich meistens nur in einem Stück Stahldraht besteht, oberhalb des Hütchens an. Das Hütchen selbst ist entweder von hartgeschlagenem Messing, oder von Achat. Die Erstern werden häufig von der Gnomonspitze zerkratzt, die Letztern stumpfen diese Spitze allmälig selbst ab: es ist daher nöthig, von Zeit zu Zeit den einen oder andern Theil nachzubessern, wenn die Empfindlichkeit des Instruments sich nicht verringern soll. Wie beim Ingenieurcompafs beides vermieden werden könne, wird unten gezeigt werden. Fig. 52.

Der gewöhnliche *Schiffscompafs*, *Steuercompafs*, *binnack-compas* ist in einem viereckigen hölzernen Kasten eingeschlossen, der oben mit einem Glasdeckel versehen ist. Wegen der starken Schwingungen des Schiffes, ist es nöthig, die Nadel mit einem cylindrischen Gehäuse von Kupfer zu umgeben, das nach Art der Cardanischen Lampe, zwischen zwei Ringen, aufgehängt ist. Der äussere Ring bewegt sich an den zwei, im Kasten befestigten Stiften, um die Axe AB; der innere, welcher den Compafs selbst umschliefst, um die winkelrechte Axe ED. Man hat auch sogenannte Sturmcompasse, bei welchen das cylindrische Gehäuse beträchtlich länger, und unten mit Blei beschwert ist, um langsamere Schwingungen zu machen. Bei allen Schiffscompassen ist die Nadel durch eine kreisförmige Papierscheibe bedeckt, welche die *Windrose* heifst. Damit diese nicht durch die Sonne, oder Feuchtigkeit sich krümme, wird sie auf ein Stück Russisches Marienglas geklebt, das auch von der untern Seite mit Papier Fig. 53. Fig. 54.

belegt wird. Diese Windrose trägt am äufsersten Rande die gewöhnliche Theilung von 360 Graden; innerhalb dieser aber, die durch fortgesetzte Halbirung des Kreisbogens entstandenen 32 Abtheilungen, oder Rhumben, Striche, deren jeder $11\frac{1}{4}$ Grade fafst, und die in der Anwendung oft auch noch halbirt werden. Sie werden durch bestimmte Zeichnungen und Benennungen unterschieden, welche aus den Namen der vier Hauptpuncte des Horizonts, Nord, Süd, Ost und West, zusammengesetzt werden. Dabei ist zu bemerken, dafs man immer von den Endpuncten des Meridians, von Nord und Süd ausgehend, nach Osten und Westen hinzählt. So heifst der Rhumb, welcher zwischen Nord und Ost in der Mitte liegt (45° von Norden ab) Nordost [1]. (N. O.) Die Mitte zwischen diesem und Nord, ($22\frac{1}{2}$° von Nord) Nordnordost (N. N. O.); die folgende Halbirung ($11\frac{1}{4}$° von Nord) gibt Nord in Osten (N. i. O.); entsprechend heifst der Winkel zwischen Ost und Nordost ($67\frac{1}{2}$° v. Nord) Ostnordost (O. N. O.) und der folgende ($78\frac{3}{4}$° von Norden abstehend) Ost in Norden (O. i. N.). Werden halbe Striche berücksichtigt, so fügt man, der angegebenen Bezeichnung nach, denjenigen Namen der vier Hauptgegenden bei, nach welchem jene hinweist; z. B. für den Rhumb von $50\frac{5}{8}$° sagt man Nordost zum Osten, halb Nord, (N. O. z. O. $\frac{1}{2}$ N.); für 84°$\frac{3}{8}$ (O. z. N. $\frac{1}{2}$ N.); für $5\frac{5}{8}$ (N. $\frac{1}{2}$ O.). Dieser Anordnung gemäfs zählt und benennt man auch die Striche von Norden nach Westen, und ebenso von Süden nach Osten und Westen. In dem Gehäuse des Compasses ist auf der Seite vom Centrum zum Vordertheil des Schiffes hin, auf weifsem Grunde, ein verticaler schwarzer Strich angebracht; und mit diesem hat der Steuermann beständig den ihm aufgegebnen Strich in Berührung zu halten. Man hat auch Compasse, an welchen der Boden des Gehäuses von Glas, und die Windrose unterhalb aufgeklebt ist; der Compafs hängt an der Decke der Cajüte des Capitains, und zeigt diesem, ob richtig gesteuert wird.

---

1 Die unnöthige Einführung des Buchstabens O, oder Ou, für West im Französischen, und der Gebrauch des nämlichen Buchstabens O für Ost im Deutschen, kann selbst bei Aufzeichnung meteorologischer Beobachtungen Undeutlichkeiten veranlassen. Es wäre zu wünschen, dafs man sich über eine gleichartige Bezeichnung z. B. die Englische E. W. S. N. vereinigte.

Ungleich sorgfältiger ist der *Azimuthalcompaſs* aus- Fig. 56.
gerüstet. Er steht auf einem Stativ mit drei Füſsen; und ist ebenfalls zwischen zwei Ringen aufgehängt. Am obern Rande seines kupfernen Gehäuses sind zwei Absehen VV' angebracht, mit welchen nach der Sonne visirt wird [1]. Die Nadel trägt keine Windrose, sondern einen möglichst leichten versilberten Kreis von Messing, der in einzelne Grade eingetheilt ist. Seitwärts bei d ist ein Drücker angebracht, mit welchem der Beobachter diesen Kreis feststellt, indem er den cylindrischen Streifen, der unten bei c in einem Gelenke geht, an denselben andrückt; eine Methode, welche ganz dazu gemacht ist, durch das Seitwärtsrutschen der nicht ganz leichten Nadel auf der Gnomonspitze die Schärfe der letztern abzuschleifen.

Unschädlicher, und doch zureichend möchte folgende Construction seyn: Aa ist der Gnomonstift, der bis nach a genau Fig. 56. cylindrisch, und glatt polirt ist. Er ist von der messingenen Hülse F umgeben, die durch ihr Gewicht beständig auf dem Hebel DE ruht, welcher durch den Pflock C gegen tieferes Sinken geschützt ist. Der Rand der untern Oeffnung des Hütchens H ist kugelförmig abgeschliffen, nach einem Radius, dessen Centrum im Berührungspunct mit der Gnomonspitze sich befinden würde. Von demselben Centrum ist auch die obere sphärische Fläche des Hütchens gebildet, so daſs dieses auch bei den stärksten Schwankungen niemals an den concaven, nach dem nämlichen Radius, geformten Wölbungen der nahen Stücke F und B anstoſsen kann. Das Stück B läſst sich vermittelst des Schräubchens m in dem Cylinder M feststellen, welcher entweder in das durchbohrte Deckglas des Gehäuses festgeschraubt, oder besser noch, in einer oben über gehenden Querstange solid befestigt ist. Will man nun die Nadel abstellen, so bedarf es nur eines kurzen Druckes am Hebel DE, des unterhalb des Zapfens Z angebracht ist, um vermittelst der Hülse F das Hütchen H an die Schale von B festzudrücken. Die Grade ab-

---

1 Capt. Kater hat vorgeschlagen, statt des Fadens der einen Diopter einen cylindrischen Glasstreifen einzusetzen, von derjenigen Krümmung, daſs das Sonnenbild, auf der andern, als eine helle feine Focallinie sich entwerfe. Diese Diopter würde alsdann nur für Sonnenbeobachtungen taugen.

zulesen, möchte auch bei dieser Gattung von Compassen die von Kater vorgeschlagne Methode die beste seyn, indem man vor der Oculardiopter einen um 45° geneigten Spiegel anbringt, und durch ein convexes Ocular die erforderliche Deutlichkeit bewirkt. Auch hat es keine Schwierigkeit, seitwärts bei N einen versilberten Kugelstreifen zu befestigen, durch dessen Mitte eine feine verticale Linie gezogen ist, und der, ohne den Gradbogen zu berühren, doch demselben so nahe gerückt ist, dafs bei einiger Sorgfalt keine Parallaxe entstehen kann. Bei S ist auswendig am Gehäuse ein Schieber angebracht, welcher den Hebel E D herabdrückt, um wenn der Compafs nicht gebraucht wird, die Nadel von der Gnomonspitze abzuheben.

Der *Compafs zum Aufnehmen*; (Boussole d'arpenteur; *Military compas*) unterscheidet sich von dem vorigen dadurch, dafs die Eintheilung nicht an der Nadel, sondern am Gehäuse befestigt ist. Ein feiner Strich an beiden Enden der Nadel schneidet die Grade ab. Diese Einrichtung findet auch bei einigen Theodolithen statt, an welchen die Boussole meist unnützer Weise angebracht ist, und die Anwendung stählerner Schrauben und Zapfen unzulässig macht. Der Compafs ist ebenfalls mit Dioptern, oder einem Fernrohr versehen; das Gehäuse ist niedrig; die freie Aufhängung fällt weg; nur das Stativ bleibt. Die Eintheilung geht hier unabgebrochen, von Nord über Osten von 0° bis 360° fort. Eine besondere Verbesserung hat hier der Compafs durch die von Kater vorgeschlagene Einrichtung [1] erhalten, vermöge welcher der Beobachter das Object und die Eintheilung zugleich sieht, so dafs er des Statives, so wie des Gehülfen entrathen kann.

Bei allen diesen Compassen wird wegen der stärkern Erschütterung des Landtransportes die Nadel durch einen Hebel von der Spitze abgehalten, der, wenn man beobachten will, ausgelöst wird. Meistens fällt bei dieser Operation die Nadel mit einer Geschwindigkeit nieder, welche die Spitze abstumpft. Die innere Höhlung des Hütchens ist zur Vermeidung der Ek-

---

1 Statt des Spiegels und der Linse hat der Opticus Schmalkalder ein rechtwinklichtes dreiseitiges Prisma angebracht, dessen eine Kathetenfläche convex geschliffen ist. S. Fig. 57.

centricität so enge, dafs eine nachtheilige Seitenreibung an der Spitze kaum zu vermeiden ist. Schon lange ist daher der Compafs als ein sehr unzuverlässiges Hülfsmittel zum Aufnehmen angesehen, und manche Unregelmäfsigkeit, die vielleicht von örtlichen Anziehungen, z. B. auf dem Schiffe von den nahen Eisenmassen [1] herrührte, mit vieler Wahrscheinlichkeit dem Instrumente selbst zugeschrieben worden. Durch folgende Construction wird diesen Mängeln abgeholfen.

AB ist eine Dose von reinem Messing oder Kupfer, V und V′ sind die beiden Dioptern, die erstere mit einem gläsernen Prisma P versehen. Beide lassen sich zur bequemern Einpackung niederklappen; die Oculardiopter V ist aufwärts verschiebbar, um das vergröfsernde Prisma so zu stellen, dafs man die Eintheilung auf dem getheilten Kreise deutlich sieht. In dem Boden der Dose ist der genau cylindrische, oben fein zugespitzte stählerne Gnomon G eingeschraubt. An ihm gleitet die messingne Hülse ohne Reibung oder Schlotterung auf und nieder. Sie ist oben konisch abgedreht, und hat noch einen horizontalen Ansatz, auf den das Hütchen H der Nadel genau sich aufpafst. Der durch eine Schlitze in der Seitenwand der Dose herausragende Hebel DE führt vermittelst des Stiftes s die Hülse am Gnomon auf und nieder: eine starke silberne Feder K drängt ihn beständig aufwärts, so dafs die Nadel immer ausgelöst ist. Während der Beobachtung drückt man bei E den Hebel sanft niederwärts, wodurch das Hütchen mit der Spitze in Berührung kommt. Die inwendige Fläche des Hütchens ist von glashartem Stahl, oder Achat, nur wenig concav, und auf das feinste polirt. Eine leise Bewegung des Fingers am Hebel bei E reicht hin, jeden Augenblick die Nadel in ihrem wahren Centrum aufzusetzen, wenn die Fläche des Hütchens auf der Spitze sich etwas verschoben haben sollte. Besonders vortheilhaft ist diese Einrichtung, um beim Beobachten die Nadel bald zur Ruhe zu bringen. Man darf nämlich nur in der Mitte einer Schwingung den Hebel loslassen, und dann sanft wieder niederdrücken, um kleinere, bald aufhörende Schwingungen der Nadel zu erhalten. Ein kleiner Schieber bei B dient, theils um den

Fig. 58. Fig. 57. Fig. 59. Fig. 60. Fig. 59 u. 60.

1 S. *Ablenkung*.

Hebel niederzuhalten, wenn man die Boussole auf eine feststehende Unterlage gesetzt hat, oder auch beim Transport denselben beständig aufwärts zu drücken. Das übrige ist, wie bei den meisten Schmalkalder'schen Boussolen. Die Visirlinie bildet mit der Richtung des Hebels einen rechten Winkel, und das Prisma befindet sich links vom Hebel, so daſs sein Ende E von der rechten Hand berührt werden kann.

Die Gradeintheilung ist nicht gezeichnet, sondern der Abdruck einer auf der Theilmaschine eingetheilten Kupferplatte; nicht zur Bequemlichkeit des Künstlers, sondern, weil die Striche feiner und gleicher werden. Der Abdruck ist auf starkem sogenannten Bristol-Papier gemacht, das vorher glacirt, d. h. mit stark gummirtem glänzendem Kreidegrund überzogen wurde, so daſs es beim Abdrucken nicht befeuchtet werden muſs, also auch, wie die Versuche gezeigt haben, nachher nicht im Mindesten sich verzieht. Die (verkehrt gezeichneten) Zahlen auf dem getheilten Kreise gehen von der Linken zur Rechten fort. Daſs auch hier jeder Bestandtheil der messingenen Boussole sorgfältig an einer empfindlichen Compaſsnadel geprüft werden müsse, ist wohl kaum nöthig, zu erinnern.

Ein solcher Compaſs, nur von drei Zollen Durchmesser, giebt einen Winkel bis auf etwa 5 bis 10 Minuten an. Für die Bestimmung der magnetischen Abweichung dürften die Dimensionen wohl aufs Doppelte getrieben, und wenn man will, statt der Dioptern ein Fernrohr angewendet werden. Dannzumal aber muſs man das Instrument auf ein Stativ setzen. Auch einem Beobachter zur See sollte diese vergröſserte Boussole [1] statt des gewöhnlichen Azimuthalcompasses gute Dienste leisten, indem er mit derselben diejenige Stelle auf dem Schiff aufsuchen könnte, welche den Störungen des Schiffeisens am wenigsten ausgesetzt wäre. Nach Capt. Claverings Versuchen auf dem Schiffe Griper [2] hat zwar ein Compaſs, im Mastkorbe aufgestellt, noch Fehler, die bis auf 18 Grade gingen; allein es möchte

---

1 Begreiflich muſs für diesen Zweck die Höhlung des Hütchens nicht so flach seyn, wie für den Gebrauch auf dem Lande; doch immer bedeutend weniger concav, als bei den bisherigen Boussolen.

2 Vergl. *Ablenkung*.

wohl eine Stelle in mittlerer Höhe, z. B. in den Wandtauen, von örtlichen Anziehungen noch entfernter seyn.

Um die Ingenieur-Boussole zum *Repetiren* einzurichten, bedarf es nur einer beweglichen Diopter, welche zwischen einem, im magnetischen Nord befindlichen Gegenstand, und dem Object, dessen magnetisches Azimuth man bestimmen will, hin- und hergedreht wird. Man bringt zu diesem Ende eine zweite ekcentrische Diopter unterwärts an der Dose an, welche um ein Centrum sich dreht, und mit der obern Diopter übereingestellt werden kann; oder man macht diese obere Diopter selbst beweglich, indem man auf dem über dem Deckglase eingestrengten Ring einen durchbrochenen Steg befestigt, und in dessen Mitte die Centrumbewegung anbringt. Man richtet nun den Compaſs und seine Diopteru so, daſs er genau auf Null zeigt, und jene nach dem magnetischen Nord gerichtet sind, und bemerkt sich einen kenntlichen Gegenstand in dieser Richtung, oder pflanzt, in Ermangelung desselben, einen weiſsen Stab in hinreichender Entfernung daselbst auf. Nun dreht man die ganze Boussole, mit unverrückter Diopter, nach der rechten Hand um, bis man den zu bestimmenden Gegenstand in der beweglichen Diopter erblickt. Sobald man den Faden auf das Object eingestellt hat, führt man bei unverrückter Boussole die bewegliche Diopter auf die Marke zur Linken im Norden zurück. Mit diesen Wechselbewegungen wird nach Belieben fortgefahren, wobei man nur im Sinne behalten muſs, daſs bei der Drehung *zur Rechten die ganze Boussole*, und wenn man *links* dreht, nur die *bewegliche Diopter allein*, bewegt werden müsse. Nach der letzten Beobachtung rechts, liest man durchs Prisma, oder bei der gewöhnlichen Boussole durch eine bei der Oculardiopter angebrachte Loupe die Grade und Zehntelgrade der Eintheilung ab, und dividirt sie durch die Zahl der auf den Gegenstand gemachten Beobachtungen. Da man die Stellung der Compaſsnadel nur bei der ersten und letzten Beobachtung in Acht zu nehmen hat, so geht die Operation sehr schnell von statten. Daſs hierbei das Instrument auf einem Stativ sich befinden müsse, bedarf keiner Erinnerung. Diese Boussole eignet sich vorzüglich zur Bestimmung der magnetischen Abweichung auf Landreisen, indem man entweder auf einen Gegenstand visirt, dessen astronomisches Azimuth man auf anderm Wege aus-

gemittelt hat, oder auch wohl mit Zuziehung der wahren Zeit das magnetische Azimuth der Sonne selbst beobachtet. Bringt man (nach KATERS Vorschlage) statt des Prisma eine Loupe mit geneigtem Spiegel an, so läſst sich auch eine Art Fernrohr mit diesem Apparat verbinden.

Der Compaſs der Bergleute, der *Markscheidercompaſs* unterscheidet sich, von dem bisher angeführten, einzig dadurch, daſs er nicht in Striche oder Grade, sondern in *Stunden* eingetheilt ist; man zählt nämlich von Norden nach Süden zwölf Stunden, und eben diese Eintheilung kehrt von Süden nach Norden zurück; nur in Ungarn soll man nach DELIUS [1] bis vier und zwanzig zählen, so daſs dort 13, 14 u. s. w. zu stehen kommt, wo wir 1, 2 u. s. w. setzen. Jede dieser Stunden wird noch in acht Theile getheilt, von denen man noch Dritttheile zu schätzen sucht. Eine Stunde beträgt mithin 15 Grade, und jeder Theil 1° 52′,5. Die Schweden theilen ihre Grubencompasse in gewöhnliche Grade ein, die sie von den Endpuncten des Meridians nach Ost und West bis auf 90° zählen; ähnlich dem Schiffscompaſs [2].

Weil die Abweichung der Magnetnadel in vielen Gegenden der Erde noch nicht genau bestimmt ist, ihre Kraft in einigen nördlichen Regionen fast verschwindet und dann auch BARLOW's Platte ihre Wirkung versagt, so hat man neuerdings einen Compaſs erfunden, bei welchen die Richtung der Magnetnadel durch unveränderliche Erscheinungen am Himmel controlirt wird, und einen solchem 1824 der Nordpolexpedition zur Probe mitgegeben. GEORGE GRAYDON, der Erfinder desselben, nennt ihn *Celestial Compass, adaptet for ascertaining the Deviation of Magnetic Needle, by simple Inspection, in any Part of the World; for finding the Latitude when the Horizon is obscured; and for steering Ships without Magnetic Aid* [3]. Die allerdings etwas complicirte Construction dieses interessanten Apparates ist folgende: AB ist ein Zifferblatt, auf eine hohle metallene Halbkugel C geschroben, welche auf zwei

Fig. 61.

---

1 Casp. Trg. Delius Anleitung zur Bergbaukunst. Wien, 1806. 4.

2 S. Lempe's Markscheidekunst. 1782. 8. pag. 94.

3 Phil. Mag. LXV. p. 358. Es wird hier angegeben, daſs diese Compasse bei Warre and Brothers, 13, Austin Friars zu haben sind.

Axen c, c in dem metallenen Ringe DD ruhet. Letzterer ist gleichfalls auf den Axen d, d beweglich, welche durch die Träger E, E getragen werden, deren Füfse auf der metallenen Platte F G festgeschroben sind, und diese ist wieder um eine Axe im Mittelpuncte des Standbrettes H I beweglich. Die bewegliche Platte F G zeigt die Cardinalpuncte, und ist aufserdem am äufsern Rande in Grade getheilt, auch bei I mit einem auf dem Standbrette festsitzenden Nonius versehen. An den Zapfen c und c hängt vermittelst zweier gespaltener Arme, deren einer M sichtbar ist, die schwere Metallplatte K L beträchtlich unter dem Schwerpuncte des halbkugelförmigen Gefäfses C, so dafs dieses, und namentlich das Zifferblatt desselben, stets in horizontaler Lage erhalten wird. Auf diese Platte ist der Arm K vertical aufgeschraubt, mit einem Nonius k an seinem oberen Ende, vermittelst dessen sich Theile der Grade des getheilten Quadranten g h an dem Gefäfse C ablesen lassen, wenn dasselbe vermittelst der Mikrometerschraube n, welche in einen Schraubengang eingreift, in die Höhe geschroben wird. In einem Rahmen, an der unteren Fläche der Platte K L, befinden sich zwei Planspiegel m m, welche einen ausspringenden Winkel mit einander bilden, und dazu dienen, um das Instrument horizontal zu stellen, indem die Bilder von zwei im Horizonte befindlichen Gegenständen durch die Reflection in eine horizontale Ebene, oder in eine mit den Rändern der Spiegel parallele Linie fallen müssen; die horizontale Lage der Platte K L wird aber durch das Anziehen oder Lösen der Schrauben an den Axen bewirkt, auf welchen das halbkugelförmige Gefäfs im Ringe D aufgehangen ist. Letzteres hat aufserdem ein Gegengewicht im Innern, vermöge dessen der Schwerpunct desselben sehr nahe, in den Mittelpunct der Kugel fällt, wovon es einen Theil ausmacht, und wird aufserdem durch die Kugel Z so balancirt, dafs eine Bewegung um die Zapfen c c seinen Schwerpunct nicht merklich verrückt.

Will man mit diesem Compafs die Abweichung der Magnetnadel finden, so läfst man das gerade Sonnenlicht entweder durch die Kreuzfäden oder durch eine Linse im Brettchen O gegen die mit einem Kreuze versehene elfenbeinerne Fläche P fallen, und indem der Schatten der Kreuzfäden oder der Brennpunct der Linse auf den Durchschnittspunct der beiden Linien

auf der elfenbeinernen Fläche P fallen muſs, so wird die Richtung hierdurch angegeben. Das Zifferblatt auf C ist nämlich in 24 Stunden oder 360 Grade getheilt und mit einem Stunden- oder Index-Arme E versehen, dessen eines Ende als Nonius getheilt ist, um die Grade auf dem Zifferblatte abzulesen. Im Centro des Zifferblattes ruhet der Rahmen P auf einer Säule, und trägt die elfenbeinerne Platte q mit Kreuzschnitten oder Kreuzfäden, am Ende auf dem Index-Arme E aber ist die Säule o errichtet, in welcher die Stange s verschiebbar ist, welche den erwähnten Rahmen O trägt, und nach den Tangenten der Winkel getheilt ist, welche der Durchschnittspunct der Fäden im Rahmen O bei seiner Erhebung oder Herabdrückung mit dem Intersectionspuncte der Kreuzfäden auf der Scheibe q bildet, zu deren feinerer Ablesung ein Nonius auf der Aufsenseite der Säule o bei v und die Mikrometerschraube t dient. Für die Sanftheit bei dieser Bewegung ist durch eine Klemmschraube gesorgt. Denkt man sich das Instrument auf dem Schiffe so festgeschroben, daſs die Linie I H mit dem Kiele des Schiffes parallel läuft, und wird dann der Bogen g h so weit erhoben, daſs seine Grade der Polhöhe gleich sind, so liegt die Fläche des Zifferblattes in der Ebene des Aequators. Man stellt dann den Index-Arm auf wahre Sonnenzeit, erhebt den Stab s zur Tangente der Sonnenhöhe für diese Zeit, und drehet die Platte F G so lange, bis der Schatten der Kreuzfäden von O aus den Durchschnittspunct der Kreuzfäden in p fällt; so ist die Linie F G und der Zeiger A im astronomischen Meridian, und die Magnetnadel zeigt ihre Abweichung so wie der Nonius bei I die Richtung des Schiffes.

Man kann ferner den Index-Arm E mit einem Uhrwerke versehen, welches denselben in 24 Stunden einmal um seine Axe drehet, und wenn dann der Nonius I auf diejenigen Grade gestellt wird, welche der Richtung des Schiffes correspondiren, so darf der Steuermann das Schiff nur so richten, daſs der Schatten der Kreuzfäden auf den Durchschnittspunct der Linien auf q fällt. Statt der elfenbeinernen Platte kann in diesem Falle auch eine matte Glasscheibe genommen werden, wenn der Steuermann hinter derselben das Bild sehen will. Dieser Gebrauch des Instrumentes ist vorzüglich in den nördlichen Gegenden zu empfehlen, wo die Sonne nicht untergeht. Daſs man bei genauer Kenntniſs der Abweichung der Magnetnadel vermittelst

dieses Instrumentes die Polhöhe und auch die wahre Zeit finden könne, ergiebt sich von selbst.

Bei allen genauern Compassen, namentlich bei denen, die zur Messung der magnetischen Abweichungen bestimmt sind, ist es wesentlich, sich zu überzeugen, ob die magnetische Axe der Nadel mit der, durch ihre Mitte gezogenen, Linie (ihrer geometrischen Axe) zusammenfalle. Dieses erfährt man dadurch, dafs man die Nadel so umkehrt, dafs ihre obere Fläche nach unten zu liegen kommt. Ist die Richtung ihrer Kanten, oder diejenige der auf ihr gezogenen Längenstriche in beiden Lagen die nämliche, so hat die Nadel keinen Collimationsfehler. Wäre dieses nicht der Fall, so müssen entweder jene Striche geändert, oder alle Angaben des Compasses um den halben Unterschied der beiden Richtungen verbessert werden. Ist die Boussole zum Reguliren eingerichtet, so suche man das Vielfache eines magnetischen Azimuths in beiderlei Lagen der Nadel; die Differenz der beiden Angaben giebt das Vielfache des Collimationsfehlers, mithin diesen selbst mit groſser Genauigkeit. Wo diese Einrichtung fehlt, kann nach Gerling[1] folgendes Verfahren angewandt werden: Man legt den Compafs auf ein Brettchen, das mit Diopteru versehen ist, und in horizontaler Richtung umgedreht werden kann, giebt ihm die Lage, dafs die Nadel auf den Nullpunct der Theilung weist, und bemerkt durch die Diopter einen kenntlichen Gegenstand. Dreht man nun das Brettchen auf ein Object zur Rechten, so giebt die Magnetnadel desselben magnetisches Azimuth an. Die Diopter des Brettchens wird sodann wieder auf den ersten Gegenstand zurückgeführt, die Boussole selbst aber so viel links gedreht, dafs die Nadel auf die eben abgelesene Stelle der Theilung weise. Bewegt man das Brettchen auf den zweiten Gegenstand, so zeigt die Nadel die doppelten Winkel. Indem man auf diese Weise in der ersten Visirlinie die Nadel immer auf den zuvor abgelesenen Punct der Eintheilung einstellt, erhält man das Vielfache des magnetischen Azimuths mit ziemlicher Genauigkeit, und durch die Beobachtung mit der umgewendeten Nadel auch das Vielfache

---

1 In den Schriften der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg. 1823. 8. I. pag. 17.

des Collimationsfehlers. Am besten ist es, wenn der Künstler selbst die Berichtigung übernimmt, welche er durch Prüfung seiner Compasse nach einem Gegenstand, dessen magnetisches Azimuth er genau bestimmt hat, mit Berücksichtigung der stündlichen Aenderungen der Abweichung leicht bewerkstelligen kann.

Noch haben wir von den Compafsnadeln selbst, ihrer besten Gestalt und Härtung zu sprechen. Der Mangel an bestimmten und genauen Versuchen hatte früher, und selbst auch in den neuesten Zeiten sehr verschiedene Gestalten hervorgebracht, und beinahe scheint es, als wenn eine der ältesten Formen heut zu Tage den Uebrigen vorgezogen werden sollte. Man hatte nämlich zwei Stücke Stahldraht in der Mitte unter einem stumpfen Winkel gebogen, während dem ihre Enden vereinigt, einen spitzen Winkel bildeten, und die Form eines Rhombus darstellten; welche, wie wir sogleich sehen werden, verschiedene Vorzüge zu haben scheint [1]. Späterhin verfiel man auf die Idee, die Nadeln an ihren Enden schwer und dick, und nach der Mitte hin abnehmend zu machen; eine Gestalt, welche in den neuesten Zeiten abermals empfohlen ist [2]. Der um die Verfertigung künstlicher Magnete besonders verdiente Dr. Knight führte hierauf die einfache Gestalt flacher Parallelepipeden von geringer Breite und Dicke ein, welche sich auch jetzt noch als sehr brauchbar bewähren. Einige haben es vorgezogen, die Nadel in die hohe Kante zu legen, vielleicht in der Meinung, durch eine gröfsere Seitenfläche die Richtungskraft der Nadel zu vermehren, oder auch um die magnetische Axe derselben der geometrischen näher zu bringen. So schwankt man noch bis jetzt zwischen entgegengesetzten Einrichtungen hin und her, indem die einen durch die Leichtigkeit der Nadel ihre Reibung zu vermindern, die andern durch die Schwere derselben das magnetische Moment zu verstärken glauben. Die wenigen Grundsästze, die wir über die Gestalt und Härtung der Compafsnadeln besitzen, verdanken wir Coulomb, der mit Hülfe

---

1 Schon Fournier i. J. 1679 empfiehlt diese Form einer in der Mitte durchbrochenen Raute, an der die beiden stumpfwinklichten Ecken durch einen messingenen Steg verbunden sind.

2 Phil. Trans. 1819. p. 96.

seiner Drehwage [1] viele und zweckmäfsige Versuche hierüber anstellte. Es ergiebt sich aus denselben:

1. Wenn die Nadeln, die vierzig bis funfzigfache Länge ihres Durchmessers haben, so nehmen die Momente der dirigirenden Kraft im Verhältnifs des Wachsthums der Längen zu. Sind sie *unter* der angegebenen Länge, so verhalten sich die dirigirenden Momente nahe, wie die Quadrate der Längen.

2. In zwei Nadeln von einerlei Natur, deren Dimensionen homolog sind, verhalten sich die dirigirenden Momente, wie die Cubi der homologen Dimensionen. So sind z. B. die Dimensionen einer Nadel von 1 Linie Durchmesser bei 6 Zoll Länge, und einer andern von 2 Linien Durchmesser und 12 Zoll Länge im Verhältnifs von 1 : 2; ihre magnetischen Momente aber sind wie 1 : 8.

3. In einem Parallelogramm von gleicher Länge und Dikke, aber doppelt so grofser Breite ist das magnetische Moment nicht doppelt so grofs.

4. Ein rautenförmig geschnittenes Stahlblech hatte ein gröfseres magnetisches Moment, als ein Rectangel von gleichem Gewicht, Länge und Dicke.

Diese Sätze erleiden jedoch eine besondere Modification, durch die *Reibung*, welche bei den Compafsnadeln an der Spitze des Gnomons statt findet. Auch hierüber hat Coulomb Versuche angestellt. Er fand, dafs bei sehr scharfen Spitzen und hartem, wohlpolirtem Hütchen die Reibung so ziemlich der Potenz $\frac{2}{3}$ des Gewichts [2] proportional war; dafs sie aber bei den gewönlichen, mehr oder weniger abgestumpften Spitzen im geraden Verhältnifs der Beschwerung zunahm. Es ist also nach Nr. 1. vortheilhaft, die Nadel nicht breiter, als etwa $\frac{1}{30}$ oder $\frac{1}{40}$ ihrer Länge zu machen z. B. 1 Linie auf 8 Zolle. Immerhin wird unter übrigens gleichen Umständen, eine längere Nadel ein gröfseres magnetisches Moment haben, besonders wenn

---

1 Vergl. *Drehwage*.

2 Coulomb schreibt (nach Biot Précis. de Phys. II. p. 75.) $\frac{3}{2}$ Potenz; das gäbe für doppelten Druck eine dreifache; für dreifachen Druck eine fünffache Reibung, statt dafs sie im erstern Fall um die Hälfte, im zweiten etwa um ein Theil zunimmt. Eine ähnliche Umkehrung des Ausdrucks rügt auch Ide. (System der Mechanik I. p. 294.)

man damit die oben beschriebene feinere Einstellung der Nadel verbindet, und die Länge nicht so grofs wird, dafs sich mehrere Pole in der Nadel bilden. Nur bei so harten und feinen Gnomonspitzen, und flachen, wohlpolirten, harten Hütchen, wie sie dort vorausgesetzt werden, läfst sich durch allgemeine Vergröfserung der Nadel etwas gewinnen, indem, nach Nr. 2. die magnetischen Momente gleichförmig gestalteter Nadeln mit ihrer Schwere gleichen Schritt halten.

Dafs dicke Nadeln weniger vortheilhaft sind, zeigt Biot[1] auf folgende Weise. „Wenn man, sagt er, auf eine dünne Nadel eine zweite von der nämlichen Gestalt und Gröfse auflegt, so wird die Schwere, mithin (bei Compassen von der gewöhnlichen Einrichtung) auch die Reibung verdoppelt; allein die Richtungskraft der zusammengesetzten Nadel nimmt nicht in eben dem Mafse zu, indem Theorie und Erfahrung zeigen, dafs durch die Gegenwirkung gleichnamiger Pole ein Theil ihres freien Magnetismus zerstört wird.“ Schwerlich wird eine einzige dicke Nadel so viel magnetische Kraft in sich aufnehmen, als zwei vereinte Nadeln von halber Dicke. Es ist also vortheilhafter bei Boussolen, Nadeln von geringer Dicke anzuwenden. Jene störende Gegenwirkung wird jedoch geringer, wenn man die Nadeln um einige Linien von einander entfernt, und ihre vereinte Kraft ist in diesem Fall der Summe ihrer einzelnen dirigirenden Kräfte nahe gleich; und so könnte diese Verbindung zweier dünner Nadeln allerdings einige Vortheile gewähren. Ganz neulich hat Pullmann in Woolwich einen Compafs mit drei parallelen Nadeln angegeben. Solche parallele Nadeln waren schon früher in Dänemark versucht worden, zur Zeit, als man befürchtete, das Durchbohren der Nadel möchte ihren Magnetismus schwächen. Die Bemerkung in Nr. 4. spricht ziemlich entscheidend für die rautenförmige Gestalt der Nadeln. Die eben berührte Reaction nahe liegender, gleichnamiger Magnetismen scheint diese Meinung zu unterstützen. Der Träger an einem Hufeisenmagnet trägt eben so gut, wenn er nur mit seiner scharfen Kante, als wenn er mit der ganzen Fläche den Magnet berührt. Eben dieser gegenseitigen Abstofsung wegen läfst man auch die Enden der aus Stäben zusammengesetzten

1 Precis élém. II. 77.

Magnetbündel treppenweise abnehmen, und nur einen einzigen Stab hervorragen.

Ueber die *Härtung* der Nadeln ist man noch mehr im Dunkeln, als über ihre Gestalt. Muschenbroek entschied nach seinen Versuchen für die Federhärte, welche beim Anlassen des Stahls sich durch die blaue Farbe ankündigt. Die französischen Physiker verwarfen diese ganz, und behaupteten, der glasharte, unangelassene Stahl nehme den meisten Magnetismus auf, und viele englische Künstler scheinen ebenfalls dieser Meinung zu seyn. Die Wahrheit scheint auch hier in der Mitte zu liegen. Coulomb fand, 1. dafs bei Stahlblechen der Zustand der starresten Härtung derjenige sey, in welchem sie den Magnetismus am wenigsten annehmen; 2. dafs dieser Grad des Magnetismus beinahe einerlei sey mit dem, wenn die Nadel bis zur weifsgelben Farbe angelassen ist. 3. dafs von dem Zustand der starresten Härtung der Magnetismus der Bleche zunimmt durch alle Grade des Anlassens, bis zum ganz dunkeln Roth. 4. dafs der Magnetismus hernach wieder abnimmt, je gröfser die Hitze ist, bei der der Stahl angelassen wird. Mit diesen Sätzen stimmt die Beobachtung eines in diesem Fache wohlbewanderten Physikers entscheidend überein [1]. Hansteen liefs zwei vollkommen gleiche Stahlcylinder, von $3\frac{1}{2}$ Zoll Länge, und 1 Linie Dicke mit einander härten, und den einen bis zur strohgelben Farbe anlaufen. Ihre magnetische Kraft prüfte er durch die Zahl von Secunden, in welcher jeder 100 Schwingungen vollendete. Es fand sich, dafs der harte Cylinder zu 100 Schwingungen 345, der gelbe nur 289 Secunden gebrauchte; die Intensität des erstern verhält sich also zu der des letztern, wie 1 zu 1,438, oder beinahe wie 1 zu $1\frac{1}{2}$. Vier andere Cylinder, die nach dem Härten in Leinöl gekocht wurden, vollendeten 100 Schwingungen in 250 Secunden; und zwar hatte die Dauer des Kochens keinen sichtbaren Einflufs auf ihre Empfänglichkeit für den Magnetismus, indem der eine nur 5, die andern 10, 15 und 20 Minuten lang gekocht wurden. Als sie, mit Seife bestrichen, bis zum Weifsglühen erhitzt, und in einer mit Oel übergossenen Salmiakauflösung von $+7°$ R. Wärme ab-

1 Poggendorfs Annalen. III. 236.

gekühlt wurden, brachten sie es (auch bis zur Sättigung magnetisirt) doch nicht unter 308 Secunden. Würden sie nach dem Glühen erst in geschmolzenem Blei, und nachher in Wasser von + 10° R. Wärme abgelöscht, so stieg jene Zahl bis 376, und nach 8 Tagen auf 412 Secunden, woraus erhellet, daſs sie allzuwenig Härte besaſsen, um einen dauerhaften Magnetismus anzunehmen; die Intensität war im letztern Fall beinahe dreimal geringer, als bei der Ablöschung in kochendem Leinöl. Zugleich ergiebt sich aus diesen, und einigen spätern Versuchen, daſs Nadeln, die nicht aufs strengste gehärtet sind, ihre Kraft allmälig verlieren, indem z. B. jene vier Nadeln binnen Jahresfrist ihre Schwingungszeit von 250 Secunden auf 267, also ihre Intensität um $\frac{1}{10}$ veränderten. Es wäre jedoch, wie Hansteen bemerkt, wohl möglich, daſs diese Abnahme sich allmälig einer bestimmten Gränze näherte.

Aus dem Bisherigen ergeben sich für die vortheilhafteste Construction der Compaſsnadeln folgende Erfahrungssätze:

1. Die Breite der Nadel muſs etwa $\frac{1}{40}$ ihrer Länge betragen. 2. Ihre Dicke mag etwa $\frac{1}{4}$ ihrer Breite halten. 3. Sie soll nach den Enden spitz auslaufen. 4. sie soll vollkommen gehärtet, und bis zur strohgelben Farbe angelassen, oder besser noch, aus der Weiſsglühhitze in siedendem Leinöl abgelöscht werden. Einige Künstler begnügen sich, die Nadel glashart zu machen, und sie dann in der Mitte, welche des Hütchens wegen gemeiniglich etwas breiter ist, bis zur blauen Farbe anzulassen. Die beste Art, die Nadel zu magnetisiren, wird im Art. *Magnet* mitgetheilt werden. Nicht zu vergessen ist, daſs in Folge der magnetischen Neigung auf der Nordhälfte der Erdkugel das Nordende, auf der südlichen das Südende schwerer ist. Man muſs daher jede Nadel mit einem kleinen messingenen Laufgewichte beschweren, das längs derselben verschoben werden kann. Bei Compassen, die keine bedeutende Ortsveränderung erfahren, genügt es, durch ein Paar Tropfen Siegellack das Gleichgewicht herzustellen.

Vor einigen Jahren wurde viel Aufhebens von einer angeblichen Methode gemacht, die Magnetnadel gegen die Einflüsse eisenhaltiger Gebirgsmassen, oder auch des Eisenwerkes in den Schiffen zu verwahren. Ein Venetianischer Ingenieur, Scaramella, glaubte im J. 1815 dieses durch eine runde Dose von

weichem Eisen bewerkstelligt zu haben, in welche er die Magnetnadel einschloſs. Er theilte seine Erfindung dem Nationalinstitut in Mailand mit, welches dieselbe durch drei Astronomen der Sternwarte prüfen lieſs. Sie gebrauchten hierzu einen starken Magnet, der sein sechszehenfaches Gewicht trug: er zog die Dose an, aber nicht die Nadel. Daſs das weiche Eisen, als ein Conductor der magnetischen Flüssigkeit, eine magnetische Localwirkung zerstreuen könne, indem es sie auf seiner ganzen Oberfläche verbreitet, leidet keinen Zweifel. Aber immerhin werden auch verschiedene Intensitäten und Polaritäten sich zeigen, und selbst im gewöhnlichen Zustande, ohne Einwirkung eines Magnetes, wird durch die Wirkung des Erdmagnetismus [1] die nach Norden gekehrte Seite dieser eisernen Boussole einen nördlichen, die südliche einen südlichen Magnetismus erhalten, so daſs, auch angenommen, daſs in der Masse, Rundung und Reinheit der eisernen Dose, keine Ungleichheit statt finde, dennoch wenigstens die Intensität der Nadel durch diese Einrichtung geschwächt werden müſste. Wirklich haben die Versuche, welche zu München in der Werkstätte von Utzschneider, und zu Copenhagen mit solchen Dosen gemacht wurden, keine genügende Resultate gegeben. Aehnliche Urtheile sind auch seither über die sogenannten *Insulating compasses* des englischen Künstlers Jennings ergangen [2]. *H.*

Compensation.

Ein Wort, das in den meisten Europäischen Sprachen aufgenommen ist, und eine Vorrichtung bezeichnet, durch welche man den Ausdehnungen, die alle Körper durch die Wärme erleiden, entgegenwirkt. Einige Schriftsteller nennen auch in der Optik *achromatische Compensation*, die Wegschaffung der Farben des Crownglases durch das Flintglas. Vorzüglich aber gehört dieser Gegenstand der in den neuern Zeiten so sehr vervollkommneten Uhrmacherkunst an, und bezeichnet in derselben eine am Uhr-Pendel, und eben so an der Unruhe der Taschenuhren angebrachte Vorrichtung, um die durch die Wirkung der Ausdehnung gestörte Gleichheit der

1 S. *Ablenkung.*
2 Vergl. v. Zach's Corresp. Astron. II. 580. III. 177.

Dauer der Schwingungen (*den Isochronismus*) wieder herzustellen.

Theorie und Erfahrung lehren, dafs ein Pendel desto langsamer schwingt, je länger es ist, und umgekehrt [1]. Durch die Wärme wird die Pendelstange, von welcher Substanz sie auch seyn mag, verlängert, und die Uhr geht langsamer. Denn, wenn jede Schwingung auch nur um 0,001 einer Secunde länger dauerte, als vorher, so wird die Uhr doch in 24 Stunden, um nahe $1\frac{1}{2}$ Minuten zurückbleiben. Ein Hunderttheil einer Pariser Linie, Aenderung der Pendellänge, entspricht sehr nahe einer Secunde Aenderung des Ganges, und da das Eisen für 10° Réaum. um $\frac{0,00117}{8} = 0,000146$ sich ausdehnt, so wird eine Pendelstange von 440,5 Lin. für eben diese Erwärmung um 0,064 Linien sich verlängern, so dafs diese Uhr in 24 Stunden etwa $6\frac{1}{2}$ Secunden verliert: ist die Pendelstange von Messing, so wird die Verspätung $\frac{2}{3}$ mehr, oder $10\frac{1}{2}$ Secunden betragen. Da wegen der ungleichen Ausdehnung der Instrumente, Zitterungen der Luft, Erzeugung von Wasserdunst etc., die Sternwarten nicht geheizt werden dürfen, so sind gerade diejenigen Uhren, bei welchen es auf gleichförmigen Gang am meisten ankommt, diesem Wechsel der Temperatur, der in kalten Klimaten vom Sommer zum Winter leicht 40 bis 50 Grade betragen kann, mehr ausgesetzt, als die in Wohnzimmern stehenden gewöhnlichen Uhren. Es war also ein unausweichliches Bedürfnifs der neuern praktischen Astronomie, ein Mittel zu finden, wie man dieser Verlängerung der Pendelstange entgegenwirken, und das Centrum der Linse immer in einerlei Entfernung vom Aufhängepunct erhalten könne.

Der Erste, der mit diesem Gegenstande sich beschäftigte, war der Uhrmacher Graham, im Jahr 1715 [2]; er hatte die glückliche Idee, nicht etwa einen Körper von geringer oder gar keiner Ausdehnung zu suchen, sondern vielmehr die Ausdehnung des Eisens durch die noch stärkere eines andern Metalles

---

1 Vergl. *Pendel.*

2 The philos. transact. abridged by M. Reid and John Gray. Vol. VI. part. I. p. 277.

unwirksam zu machen, und so durch Entgegensetzung zweier Fehler das Richtige zu erreichen; ein Verfahren, das, wo es nur immer anzuwenden ist, in praktischen Dingen die besten Dienste leistet, weil es uns leichter wird, Fehler durch Fehler aufzuheben, als etwas an sich Vollkommenes zuwege zu bringen. Dabei ist merkwürdig, dafs seine Methode der Compensirung nach einer Vernachlässigung von etwa 100 Jahren gerade jetzt wieder hervorgezogen, und mit gutem Erfolge benutzt worden ist. Graham ging von der Idee aus, die 20 Jahre später den durch seine Verbesserungen der Chronometer berühmten Harrison auf das Rostpendel brachte; nämlich durch ein Metall von stärkerer Ausdehnung die Verlängerung der eisernen Pendelstange aufzuheben. Bei näherer Untersuchung ergab sich ihm ein so geringer Unterschied der Ausdehnung bei den verschiedenen Metallen, dafs er die Sache als unthunlich aufgab.

Ein Nivellirinstrument, das bei ihm im Jahre 1721 bestellt wurde, veranlafste ihn unter andern, das Quecksilber für diesen Zweck zu probiren; und obwohl es sich dazu ganz untauglich erwies, ſo fiel ihm dabei die an einer so dichten Flüssigkeit ganz unerwartete groſse Ausdehnung durch die Wärme auf, und erweckte auch sogleich in ihm die Idee, sie für das Pendel zu benutzen. Beim ersten Versuche war die Quecksilbersäule zu lang, beim zweiten zu kurz, und erst im Juni 1722 erhielt er einen Glascylinder von passender Länge, der den Gang seiner Uhr, die er durch ein Passageninstrument prüfte, so verbesserte, dafs ihre Abweichung nur den sechsten oder achten Theil von den Fehlern einer an der nämlichen Wand aufgehängten, sonst gut gearbeiteten Uhr betrug. Im Juli 1723 versah er das Pendel einer andern Uhr mit einem inwendig gefirnifsten Cylinder aus Messing, vermuthlich um durch einen metallischen Wärmeleiter die Mittheilung der Temperatur an das Quecksilber zu beschleunigen.

Noch ehe Graham seine Erfindung öffentlich bekannt gemacht hatte, versuchte seinerseits Harrison, wohl ohne von jenen Vorschlägen etwas zu wissen, durch Zusammensetzung von Messing und Stahlstangen eine genügende Compensation zu bewirken. Sein Apparat heifst das *Rotspendel*, (Engl. *Gridiron Pendulum*) und ist seither fast allgemein bei genauern Uhren angebracht worden. Nachdem im Jahr 1754

durch SMEATON's Versuche die bedeutende Ausdehnung des Zinkes bekannt geworden war, verliefsen die englischen Künstler in den zwei letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts die mühsame Construction des Rostes aus Messingstäben, und brachten mit Hülfe des Zinks eine weit einfachere und solidere Compensation zuwege, welche jedoch erst in der neuesten Zeit durch BREGUET in Frankreich bekannt geworden zu seyn scheint.

Im Jahre 1738 trat der durch genaue Versuche über die Ausdehnung der Metalle bekannte Uhrmacher JOHN ELLICOT mit einem Pendel auf [1], an welchem er die Compensation durch zwei Stangen von Stahl und Messing bewerkstelligte, deren relative Verlängerung durch ein angebrachtes Hebelwerk die Linse des Pendels höher hob. Aehnliche Vorrichtungen beschreibt CASSINI [2], und giebt die Mafse für solche Hebelwerke mit angehängten Demonstrationen. Merkwürdig ist, dafs später GRAHAM selbst Uhren mit Rostpendeln nach HARRISON's Art verfertigte, an welchen die Stahl- und Messingdrähte verlängert werden konnten, um die Compensation zu berichtigen.

Inzwischen hatte HARRISON die tragbaren Uhren zu gröfserer Vollkommenheit gebracht [3], und bei diesen die Compensation der Unruhe durch die Krümmung einer aus Stahl und Messing bestehenden Feder bewirkt. Diese Idee wurde in der neuesten Zeit, von einem Pariser Künstler, MARTIN, benutzt, um durch Hebung zweier, zu beiden Seiten des Pendels angebrachten Kugeln die Erhöhung des gemeinschaftlichen Schwerpunctes zu bewirken. Wir können dem Angeführten zufolge die Beschreibung der Compensationen auf vier verschiedene Constructionen bringen; nämlich 1. das Quecksilberpendel, 2. das Rostpendel, 3. das Pendel mit Hebelwerk, und 4. das Pendel mit thermometrischen Federn.

Fig. 62.

1. Das Quecksilberpendel

besteht aus einer eisernen Pendelstange ab von 2 bis 3 Linien Durchmesser, in welche von b bis s ein etwas feiner Schraubengang geschnitten ist. Dieser wird durch das obere Stück fg eines eisernen oder messingenen Rahmens fgoq gesteckt, der da, wo

1 Philos. transact. Vol. 47. Years. 1751. und 1752. p. 479.

2 Hist. de l'Acad. 1741.

3 Vergl. *Chronometer*.

die Schraube durchgeht, eine kleine Verstärkung erhalten hat. Seine Schenkel sind unten an einen messingenen Teller oder Ring oq festgenietet, welcher inwendig etwas eingesenkt ist, um den Glascylinder cccc aufzunehmen. In diesen tritt oben ein messingener, gefirnister Deckel hi ein, dessen breiter Rand bei h und i eingeschnitten ist, um dort den Rahmen zu umfassen, wodurch der Deckel sowohl als der Glascylinder eine festere Stellung erhält. Bei e befindet sich eine eingetheilte mikrometrische Schraubenmutter, welche den Rahmen und das Gefäfs trägt, und den Gang der Uhr regulirt. Um das Gefäfs mit der Pendelstange desto fester zu verbinden, ist oberhalb bei d eine Gegenschraube angebracht.

Die Theorie dieses Pendels ist einfach. Da der Schwingungspunct p des Pendels sich nahe in der Mitte des Quecksilbercylinders, oder auf seiner halben Höhe befindet, so mufs dieser Punct um so viel erhoben werden, als die Verlängerung der eisernen Pendelstange und des ganzen Rahmens beträgt: mithin mufs der *ganze* Quecksilber-Cylinder so hoch seyn, dafs seine Ausdehnung das Doppelte jener Verlängerung ausmacht, oder, wenn l die Länge des eisernen Pendels, e die specifische Ausdehnung des Eisens, q den halben Quecksilbercylinder, und m die Ausdehnung des letztern Metalles bezeichnet, so mufs $l\,e = q\,m$ seyn. Man erhält hieraus $m : e = l : q$; d. h. für gleiche absolute Verlängerungen verhalten sich die Längen der Körper selbst umgekehrt, wie ihre specifischen Ausdehnungen. Nun aber ist die ganze Länge des wirklichen Pendels $= l + q$; und so hat man $m : e = l + q : q$, oder $m - e : e = l + q - q : q$; daraus $q = \frac{e\,l}{m - e}$. Setzen wir [1] für Eisen den Werth e im Mittel $= 117$ und für Quecksilber mit Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases $m = 1750$ Hunderttausendtel der Länge, oder $m : e = 15 : 1$, so ist $\frac{e}{m - e} = \frac{1}{14}$; und daraus wenn man $l = 36{,}7$ Par. Zolle annimmt, $q = \frac{1}{14}\,l = 2{,}62$; mithin erfordert dieses eine Quecksilbersäule von 5,24 Zollen

---

[1] S. *Ausdehnung*. Th. I. p. 582 u. 600.

nung der Metalle[1] können wir e, im Mittel = 117, und für gegossenen Zink z = 296 Hunderttausendtheile der Länge setzen; dieses Verhältnifs ist von $8\frac{1}{2} : 9$ nicht sehr verschieden; und somit wird die gesuchte Länge der Zinkstange

$$= l \frac{3,5}{9-3,5} = \frac{3,5}{5,5} l = \frac{7}{11} l = \frac{7}{11} \times (36,7+2,8) = 25 \text{ Zoll.}$$

Wählt man statt des Zinks ein Metall von geringerer Ausdehnung, z. B. Messing, dessen Expansion etwa auf 0,00190 zu setzen ist, so dafs dieselbe zu derjenigen des Eisens sich wie $8 : 5$ verhält, so hat man $x = \frac{5}{8-5} l = \frac{5}{3} l$. Die Messingstange müfste demnach um $\frac{2}{3}$ länger seyn, als das Pendel selbst, was unthunlich ist. Man vertheilt daher die $\frac{5}{3}$ auf zwei gleiche Systeme, die man so verbindet, dafs ihre Wirkungen addirt werden, so dafs man jeder der zwei aufsteigenden Messingstangen die Länge von $\frac{2\frac{1}{2}}{3}$ giebt. Man erhält hieraus den allgemeinen Satz für die Compensation: „Die Summe der Längen „der verticalen Stäbe des gegebenen Metalls verhält sich zur „Gesammtlänge der verticalen Stäbe des compensirenden Metalls umgekehrt, wie ihre linearen Ausdehnungen."

Fig. 64.

Der Symmetrie und Festigkeit wegen ist man genöthigt, die Stangen zu verdoppeln, und sie zu beiden Seiten der Pendelstange gleichmäfsig anzubringen. Man läfst also von dem untern Stege der Pendelstange p e die zwei Zinkstangen a b und c d heraufgehen, welche an dem Stege b d die Eisenstange e g tragen. Man kann auch mit einer einzigen Zinkstange die Compensation bewirken[2]. Die Pendelstange p c ist in dem messingenen Stege a b in der Mitte befestigt; von den Enden desselben a und b senken sich die 3 Lin. dicken Eisendrähte a d und b c herunter, welche den Steg d e tragen. Aus der Mitte f des Letztern steigt die etwa 7 Lin. dicke Zinkstange f g auf, an welcher der Steg h i befestigt ist. Dieser ist von der nämlichen Länge, wie a b, um die Stangen a d und b e durch-

Fig. 65.

Fig. 66.

1 S. dieses Wörterbuch T. I. p. 583. und 585.

2 Diese Einrichtung ist, wie auch die oben erwähnte des Quecksilberpendels von Repsold in Hamburg.

zulassen, and so das Schwanken der Zinkstange zu verhüten. Von ihm hängen die Eisendrähte h k und i l herab, welche durch den Steg d e frei, doch ohne Schlotterung durchgehen, und unten im Steg k l verbunden sind, aus dessen Mitte die Stange m o heruntergeht. Sollte man es nicht zu schwierig finden, eine Zinkstange der Länge nach zu durchbohren, oder eine so enge Röhre zu gieſsen, so könnte man die Pendelstange durch die Zinkstange stecken, und die letztere mit einem Flintenlauf umgeben [1].

Diese sehr nahe liegende Idee empfiehlt vorzüglich HERAPATH [2], und die Construction des von ihm angegebenen Pendels ist so einfach und zweckmäſsig, daſs sie hier eine kurze Erwähnung verdient. Das Pendel ist, wie gewöhnlich, an einem Stücke einer Uhrfeder A', von 8 engl. Zollen Länge aufgehangen, und an dieser die eiserne Pendelstange B, 27,92 Z. lang befestigt. Auf einer Scheibe an ihrem unteren Ende ruhet die Röhre von Zink C, gleichfalls 27,92 Z. lang, an deren oberes Ende eine Schraube zur Regulirung der Compensation geschnitten ist. Ueber diesen hohlen Cylinder von Zink wird die äuſserste eiserne Röhre D geschoben, welche unten bei E' in das eiserne Stück geschraubt ist, an dessen Stange die Linse bei G in ihrem Mittelpuncte festsitzt, und die Schrauben am Ende einer Röhre F dient dazu, die Linse höher zu schrauben; oben bei E aber wird die eiserne Stange D durch eine Mutterschraube gehalten, welche sich auf der männlichen Schraube der Zinkstange zur Regulirung der Compensation auf und nieder schrauben läſst. Die Berechnung der Längen der einzelnen Theile, und der diesen zugehörigen Compensation ist nach HERAPATH folgende. Er nimmt die Ausdehnung des Eisens für 1° F. = 0,000006937, der Stahlfeder = 0,00000761 und des Zinkes = 0,00001672 der Einheit an. Hiernach beträgt die Ausdehnung

Fig. 67.

---

1 Der Architekt ZECCHINI LEONELLI schlägt vor, die in der eisernen Röhre verschlossene Zinkröhre aus zwei in einander geschraubten Stükken zu verfertigen, um nach Belieben sie verlängern zu können. S. die Jahrbücher d. polytechn. Instituts in Wien. VI. p. 53.

2 Philos. Mag. LXV. 374.

4. Compensation durch die Biegung thermometrischer Federn.

Das Bedürfniſs einer genauen Compensirung bei Chronometern und die Unmöglichkeit, die Compensation durch Stangen bei diesen Werkzeugen anzubringen, brachte den erfinderischen Harrison auf die Idee, eine Feder von Stahl und Messing zusammen zu nieten, welche wegen der ungleichen Ausdehnung und Zusammenziehung beider Metalle sich bald nach der einen, bald nach der andern Seite krümmen, weil das längere Metall sich stets auf der convexen Seite des Krümmungsbogens befinden muſs. Die Wirkung dieser Vorrichtung ist beträchtlich. Nimmt man der Einfachheit wegen die erhaltenen Krümmungen für Kreisbogen an, so ergiebt sich: 1. daſs sie, so lange die Aenderungen nicht bedeutend sind, mit dem Ueberschuſs des einen Metalles über das andere so ziemlich gleichen Schritt halten. 2. Daſs sie bei gleicher Temperatur desto stärker werden, je mehr die beiden Metallstreifen einander genähert sind. Dicke Streifen sind daher bloſs da zu empfehlen, wo man nur eine geringe Biegung, und dagegen mehr Festigkeit verlangt; denn auch die Steifigkeit derselben leistet den Wirkungen der Ausdehnung merklichen Widerstand. Auf diese, wie wir unten sehen werden, vorzüglich bei Chronometern anwendbare Eigenschaft solcher Doppelstreifen gründete Martin die von ihm in Anwendung gebrachte Compensation: a und b sind zwei Kugeln, welche an die in eine Schraube ausgehenden Enden der Doppelfeder e e m m gesteckt sind. Diese ist für eine angenommene mittlere Temperatur geradlinig. Bei steigender Temperatur dehnt sich der untere messingene Streif m m stärker aus, als der obere eiserne e e, die Feder wird mithin nach oben concav, und die Kugeln steigen aufwärts. In der Kälte zieht sich das Messing mehr zusammen, als das Eisen, und die Kugeln sinken so viel unter die Mittellinie, als die Verkürzung der eisernen Pendelstange es nöthig macht. Man hat hier drei Berichtigungen der Compensation: 1. kann man durch dünnes Feilen der Feder ihre Bewegung vermehren; 2. durch das Hin und Herschrauben der Kugeln ihren durchlaufenen Weg modificiren; 3. durch das Gewicht der Kugeln selbst ihr statisches Moment im Verhältniſs zur Linse P, mithin ihren Einfluſs auf die Erhöhung des Schwingungspunctes verändern. Auch hat diese Einrichtung

Fig. 70.

den Vortheil, daſs sie für sich bestehend ist, mithin an jedem bereits fertigen Pendel angebracht werden kann.

Sehr oft schon ist auch das Ersatzmittel einer eigentlichen metallischen Compensation angerathen worden, die Pendelstangen aus Holz zu verfertigen: man empfiehlt dazu besonders das geradfaserichte Tannenholz, welches man noch, um es gegen die Feuchtigkeit unempfindlicher zu machen, in Oel kochte, oder nachdem es im Ofen getrocknet war, stark mit Firniſs überzog. Es läſst sich nicht leugnen, daſs mit einem solchen Pendel eine Uhr bedeutend richtiger geht, als mit einem aus Eisen oder Stahl. Dennoch scheint es schwer zu seyn, der Feuchtigkeit, besonders in den Fugen der Verbindung mit den unentbehrlichen Metallstücken allen Zutritt zu verwehren, und dann übt auch die Wärme einen merklichen Einfluſs aus, indem sie das Holz verkürzt, während dem die Kälte es verlängert. Man hat daher die Regel gegeben, den siebenten Theil der Pendellänge von Messing zu machen. Gleichwohl sind solche Uhren nur auf ein Paar Secunden genau, und taugen also in der praktischen Astronomie nur für *Zähler*. Das Schlimmste ist, daſs man für die Anomalien dieses Pendels keine Rechnung tragen kann, weil sie der Wärme und Feuchtigkeit allzulangsam folgen, um irgend ein sicheres Verhältniſs zwischen Ursache und Wirkung möglich zu machen. Nach Versuchen des oben erwähnten Ignaz Berlinger wurde ein Pendel, das man von $+4°$ R. bis auf $30°$ R. erwärmte, um $\frac{1}{10}$ Linie verkürzt. Als es nachher noch zwei Stunden lang einer Hitze von $52°$ R. ausgesetzt wurde, zog es sich um $\frac{1}{4}$ Linie zusammen; allein es bedurfte, als der Kasten dem Luftzuge wieder geöffnet wurde, mehr als 42 Stunden, um seine ursprüngliche Lage wieder anzunehmen [1].

Noch sind hier diejenigen Vorrichtungen zu erwähnen, welche nicht an der Pendelstange selbst angebracht werden, sondern bei welchen der Biegungspunct der dünnen Stahlfeder, an welcher das Pendel aufgehängt wird, verrückt, und so die Länge des Pendels auf ein beständiges Maſs zurückgeführt wird. Eine der einfachsten ist folgende: Man befestigt das Stück a, Fig. 71.

---

1 Jahrbücher des polytechn. Instituts in Wien. Bd. VI. p. 37.

welches die Aufhängefeder einklemmt, nicht wie gewöhnlich am hintern Boden des Uhrwerks, sondern an dem einen Ende eines kleinen Hebels a c b, dessen anderes Ende mit einer Stange b d zusammenhängt, die bei d in der nämlichen Wand befestigt ist, welche oben die Uhr selbst trägt. Durch Veränderung des Hebelarmes b c, und durch die Länge der Stange selbst, je nach der Ausdehnung des gewählten Metalles läfst sich diese Compensation berichtigen; doch wird man hierbei immer noch mit den Dehnungen der Wand selbst zu thun haben, von denen keine Substanz, weder Holz noch Stein, ganz freizusprechen ist. Es fällt in die Augen, dafs diese Verschiebung des Aufhängepunctes, durch andere Mittel, namentlich durch die oben in Nr. 4 erwähnten Federn aus zweierlei Metall gar wohl bewerkstelligt werden könne. Diese Art der Compensirung hat den Vortheil, dafs sie den Biegungen und Klemmungen der Stangen, und dem beständigen Druck der Linse nicht ausgesetzt ist, dagegen ist sie wegen der ungleichen Biegsamkeit der Aufhängefeder in verschiedenen Stellen, und wegen der ungleichen Abschneidung ihres Biegungspunctes bei den leicht möglichen Schwankungen der Klammer selbst, doch keineswegs den zuverlässigen Methoden beizuzählen.

Noch ist zu bemerken, dafs bei Berechnung der Compensationen auch noch die halbe Höhe der Linse berücksichtigt werden mufs. Je nachdem die Linse aus Blei, Messing oder Eisen besteht, wird ihr Schwerpunct im Verhältnifs der Ausdehnung höher gehoben, als er durch die Verlängerung der gewöhnlich etwa 3 Zoll langen eisernen Schraube am Pendel sinkt. Ist die Linse aus Gufseisen, so fällt diese Bedenklichkeit weg; beim Blei und Messing hingegen tritt eine eigentliche Verkürzung, eine Uebercompensirung ein. Verschiedene Künstler bringen deswegen die Stellschraube der Linse in ihrer Mitte selbst an.

Compensation bei Chronometern.

Die Unruhe der tragbaren Uhren ist eine Art Schwungrad, das durch die Spiralfeder in eine Wechselbewegung versetzt wird. Die Schnelligkeit seiner Schwingungen hängt ab von der Kraft der Spiralfeder, und von der Last der Unruhe selbst, namentlich von ihrem Trägheitsmoment. Durch die Wirkung der Wär-

me wird die Feder verlängert, wodurch sie an Kraft verliert, so dafs sie die Unruhe nicht mehr mit der nämlichen Schnelligkeit zu bewegen vermag. Man begegnet diesem Mangel durch die Verminderung des Trägheitsmomentes, indem man am Stege der Unruhe eine halbkreisförmig gebogene Doppelfeder aus Stahl und Messing, oder Platin und Silber anbringt, an deren Ende sich ein Gewicht befindet, das durch die in der Wärme erfolgende stärkere Krümmung dieser Feder dem Centrum der Unruhe mehr genähert wird. Die Figuren geben eine deutliche Vorstellung dieser beiden Constructionen. In der letztern wird, um die Compensation zu verstärken, der S förmig geschweifte Stahlstreifen auf der convexen Seite von c bis d, und von d bis m mit Messing belegt. Giebt man den Massen M und M′ ein bedeutendes Uebergewicht über die zur Regulirung des mittlern Ganges bestimmten Gewichte A und A′, so dürfte auch ein einziger Quadrant einer solchen Doppelfeder genügen.

Fig. 72 und 73.

Fig. 72.

Die Compensation der Ausdehnungen durch die Wärme kann auch in andern Fällen, wo es unveränderliche Längen erfordert, bei Gestellen, Mafsstäben, Messstangen ihre Anwendung finden. So wurde z. B. de Lüc zu seinen pyrometrischen Versuchen über die Ausdehnung des Glases [1] durch den Wunsch veranlafst, ein unveränderliches Stativ für sein Hygrometer zu finden. In den meisten Fällen jedoch ist es besser, solche Geräthschaften aus Stoffen zu verfertigen, die keiner bedeutenden Ausdehnung unterworfen sind, und für die unvermeidlichen Verlängerungen nach der Temperatur Rechnung zu tragen. *H.*

Compressibilität.

Zusammendrückbarkeit; *Compressibilitas; compressionis capacitas;* Compressibilité; *Compressibility, compressibleness;* nennt man diejenige Eigenschaft der Körper, vermöge deren sie durch die Einwirkung mechanischer Gewalt in einen geringeren Raum zusammengeprefst werden können, als den sie vorher einnahmen. Nimmt man die Sache in dieser Allgemeinheit, so giebt es kei-

1 Th. I. dieses Wörterbuchs. pag. 565. und 576.

nen Körper, welcher nicht compressibel genannt werden müfste, denn da alle Körper durch Wärme ausgedehnt werden [1], so ist ihr Volumen allezeit durch ihre Temperatur bedingt. Nun ist zwar die Gewalt, womit sich die Körper ausdehnen, sehr grofs, aber nicht unendlich, und wird daher eine zusammendrückende Kraft angewandt, welche gröfser ist als diejenige, womit sie sich durch vermehrte Wärme ausdehnen, so müssen sie hierdurch nothwendig zusammengedrückt werden, und sind somit alle compressibel, oder die Eigenschaft der Compressibilität ist nach diesen Gründen eine *allgemeine, allen Körpern zukommende.* Die hierbei gleichfalls aufgeworfene Frage, nämlich, ob die Materie an sich, also auch ihre kleinsten Elemente oder Atome compressibel sind, kann man entweder zurückweisen, insofern die Naturforschung uns noch nicht über die Beschaffenheit der Atome belehrt hat, oder man kann sie verneinen in Gemäfsheit derjenigen Vorstellungen, welche wir uns von den Elementen der Körper machen müssen, insofern auf diese nur die *absoluten* Eigenschaften der Materie, keineswegs aber die *relativen* der Körper, worunter auch die Compressibilität gehört, ausgedehnt werden können.

Der Grad der Compressibilität der verschiedenen Körper ist sehr verschieden. Am meisten lassen sich die elastisch flüssigen oder expansibelen, weit weniger die tropfbar flüssigen und in sehr ungleichen Graden die festen zusammendrücken. Die beiden ersteren nehmen aufserdem, sobald die comprimirende Gewalt aufhört, ihren früheren gröfseren Raum wieder ein, und heifsen deswegen, wenn sie sich in jeden beliebigen, der comprimirenden Gewalt umgekehrt proportionalen Raum ausdehnen, *elastische*, oder besser *expansibele* Flüssigkeiten [2] (*Expansibilien*), wenn sie aber nach aufhörendem äufserem Drucke und bei unveränderter Temperatur genau ihr früheres Volumen wieder annehmen, *elastisch*, welche Eigenschaft der Elasticität auch den festen Körpern unter gewissen Bedingungen allgemein zukommt. Beide Eigenschaften werden am gehörigen Orte untersucht, und daher hier am besten

1 S. Th. I. p. 557.
2 Vergl. *Elasticität.*

übergangen, obgleich bei den expansibelen Flüssigkeiten auf ihre Compressibilität, oder vielmehr auf den Grad und die Stärke ihrer *Compression*, ihrer *Zusammendrückung* jederzeit Rücksicht genommen werden muſs. Versteht man aber unter Compressibilität diejenige Eigenschaft der Körper, vermöge welcher sie in einen geringeren Raum zusammengepreſst werden können, und in diesem auch bei nachlassendem Drucke ganz oder zum Theil verharren, welches die richtige Bestimmung ist, insofern die *Compressibilität* von der *Elasticität* unterschieden werden muſs, so kommt diese nur den festen Körpern zu. Im Allgemeinen ist dieselbe eine Folge der lockerern Zusammenfügung der Bestandtheile. Bei vielen Körpern ist dieses sehr auffallend, z. B. bei den Hölzern, beim Leder, beim Papier, bei der Pappe, gefilzten Körpern, gewebten Zeugen u. dgl. m. Alle diese lassen sich mechanisch bedeutend zusammendrücken, indem ihre Theile einander näher gebracht, und sie selbst dadurch dichter und fester werden. Weniger auffallend, aber auf dem nämlichen Grunde beruhend, ist dieses bei den Metallen, welche indeſs gleichfalls durch Drahtziehen, Hämmern, Pressen z. B. beim Münzen, Walzen u. s. w. entweder im Ganzen oder zunächst der Oberfläche mehr oder minder zusammengepreſst werden, und ihr früheres Volumen meistens erst durch Erhitzung wieder annehmen. Zuweilen ist die Zusammendrückung nur scheinbar, z. B. beim Elfenbein, dem Blei u. a. m., indem die Theile zwar nach einer Dimension einander näher gebracht werden, nach einer andern aber zugleich sich weiter entfernen. Glas, noch zähe durch Hitze, fand Graf Bucquoi [1] durch die heftigsten Schläge mit dem Rammklotze nicht compressibel, und hält es daher auch in diesem Zustande für elastisch.

Hiernach können wir also vorzugsweise nur den Metallen Compressibilität zuschreiben, und diese ihre Eigenschaft ist auch allgemein bekannt. Minder ist dieses der Fall bei den Holzarten, obgleich diese ohne Ausnahme in einem noch weit höheren Grade compressibel genannt werden können, indem sie sich sowohl nach der Länge als auch nach der Quere ihrer Fibern

1 G. XLIII. 98.

bedeutend zusammendrücken lassen. Werden hölzerne Cylinder oder Säulen nach der Länge ihrer Fibern einige Minuten unter einer starken Presse zusammengedrückt, und unmittelbar ins Wasser geworfen, so sinken sie unter. Dauert die Zusammendrückung längere Zeit, so kommen die Hölzer überhaupt nicht wieder zu ihrem früheren Volumen zurück, aufser wenn dieses durch Zutritt von Feuchtigkeit geschieht [1]. Auch Kork läfst sich so stark zusammendrücken, dafs er specifisch schwerer wird als das Wasser [2], wenn der Druck ihn von allen Seiten trifft. Legt man in ein dickes Glasgefäfs mit einer Compressionspumpe eine Korkkugel, und comprimirt die Luft darin durch schnelle und starke Stöfse, so wird sich die Kugel selbst zu weniger als ein Drittheil ihres Volumens zusammenziehen, beim Entweichen der Luft aber ihr früheres Volumen wieder erhalten. Ist das Gefäfs zum Theil mit Wasser gefüllt, worauf der Kork schwimmt, so wird zwar etwas Wasser in denselben dringen, dennoch aber sein Umfang auf gleiche Weise abnehmen, und er zu Boden sinken. Hiervon leitet Leslie die Erscheinung ab, dafs eine mit Luft gefüllte und gut verkorkte Flasche, wenn sie 20 bis 30 Lachter tief in die See gesenkt wird, nach dem Herausziehen mit Wasser gefüllt ist, welches nicht durch die Poren des Korkes, sondern neben demselben eindringt, so dafs die Flasche zugleich verkorkt bleibt.

Die Compression, welche das Holz beim enormen Drucke des Wassers erleidet, gehört unter die auffallendsten Erscheinungen. Wenn Stücke Eichen, Eschen, Ulmen oder sonstiges Holz bis zur Tiefe von 1000 Faden in die See gesenkt und wieder heraufgezogen werden, so hat man gefunden, dafs sie 0,8 ihres Gewichtes an Wasser enthalten, und im Wasser wie Steine untersinken. Daher schwimmen die Stücke der Schiffe, welche am Ufer zertrümmert sind, oben auf, wenn aber Schiffe im Ocean sinken, so wird das Holz so dicht, dafs es nie wieder in die Höhe kommt [3]. *M.*

---

1 Vergl. *Ausdehnung* I. 555.

2 Leslie Elements of Natural Philos. Edinb. 1823. 8. I. 26.

3 W. Scoresby Account of the Arctic Regions. cet. Edinb. 1820. II Vol. 8. I. 191 ff.

Compressionsmaschine.

Compressionspumpe, Condensationspumpe, oder **Condensationsmaschine;** *Machina condensatoria;* Machine de compression ou de condensation; *Condensing engine.*

So kann im Allgemeinen jede Maschine genannt werden, womit man Körper comprimirt oder zusammendrückt. Dahin gehören also namentlich die Druckwerke der Feuerspritzen und der verschiedenen hydraulischen Maschinen, die Pressen, Walzenwerke u. dgl. m. Zunächst aber verstand man ehemals hierunter diejenigen Maschinen, mit welchen man im Gegensatze gegen die exantlirenden Luftpumpen die Luft verdichtete. Neuerdings hat man inzwischen die Entdeckung gemacht, daſs verschiedene expansibele Flüssigkeiten durch starke Compression tropfbar flüssig werden, und auch die tropfbaren Flüssigkeiten durch sehr starken Druck gewisse Veränderungen erleiden, vorzüglich wenn hiermit zugleich Erhöhung der Temperatur verbunden werden kann. Es ist daher für die Erweiterung der Wissenschaft allerdings von Wichtigkeit, Maschinen zu besitzen, durch welche gegen die zu untersuchenden Körper eine sehr groſse Compression ausgeübt werden kann. Um daher dasjenige, was in dieser Hinsicht bisher geschehen ist und noch geschehen kann, besser zu übersehen, mag folgende Darstellung dienen.

1. Compressionsmaschinen für Luft und Gasarten.

Soll die Compression der Luft nur bis höchstens auf etwa 10 Atmosphären gebracht werden, so kann man sich hierzu der gewöhnlichen Condensationspumpen bedienen. Für sehr geringe Verdichtungen, etwa 2 Atmosphären hat man die Luftpumpen eingerichtet, indem man da, wo die exantlirte Luft entweicht, einen Teller anbringt, eine Campane darauf festdrükt, und die durch die Oeffnung des gewöhnlichen freien Tellers eingesogene Luft unter derselben verdichtet. Bei Hahnluftpumpen darf man nur die Hähne umdrehen, um die Maschine, statt zur Exantlirung, zur Compression einzurichten. In-

defs schliefsen die Emboli den Luftpumpen selten dicht genug, um damit zu comprimiren, und die Anwendung derselben für diesen Zweck kann ihrer Genauigkeit leicht nachtheilig werden, weswegen dieses ein für allemal verwerflich ist.

Eine eigene Compressionsmaschine oder Condensationspumpe hat Hawkbee [1] gebraucht, eine oben und unten in Messing gefafste Glaskugel, auf welche eine gewöhnliche Condensationspumpe geschroben, und hiermit die Luft in jener verdichtet wird [2]. Mehr noch beachtet, und allgemeiner gebraucht ist die durch Nollet [3] vorgeschlagene Maschine. Sie ist aus der Zeichnung völlig klar, aus welcher sich ergiebt, dafs dem Hahn E der Vorzug vor Hawksbee's Blasenventile gegeben ist. A D ist der Pumpenstiefel von Messing, D C ein Rohr von demselben Metall, und die Kugel wird aufgeschroben; eine für die meisten Versuche zu beschränkte Einrichtung.

Fig. 74.

Wegen der Unbequemlichkeit des steten Umdrehens eines *Guerickschen* Hahns kehrte Winkler [4] wieder zu den Ventilen zurück, und zwar zu den Blasenventilen. Soll die Verdichtung nicht stark werden, so ist diese Einrichtung ohne Zweifel die beste, aber es ist zu bezweifeln, dafs man hiermit weiter, als bis zum höchstens vierfachen atmosphärischen Drucke gelangen könne. Am schönsten sind diese Maschinen ausgeführt durch Haas und Hurter, und ihre Einrichtung ist im Wesentlichen folgende. Auf einem Tischchen sind die beiden Säulen G, G befestigt, zwischen denen sich ein eben geschliffener messingner Teller befindet. Auf diesen wird die sehr starke, oben und unten genau eben geschliffene Campane, nachdem auf ihren oberen und unteren Rand etwas Pomade aufgestrichen ist, aufgesetzt, oben auf dieselbe das gleichfalls flach geschliffene massive Messingstück gelegt, durch welches in einer Lederbüchse der Draht P L luftdicht beweglich ist, und

Fig. 75.

1 Course of Mech. Opt. cet. Experiments. p. 17. Vergl. Wolf nützl. Vers. III. Cap. 1.

2 Eine dieser ähnliche Compressionsmaschine, welche sich noch in einigen Cabinetten findet, einen messingenen Cylinder mit zwei Glasscheiben an den Flächen beschreibt s'Gravesande Phys. El. II. 610.

3 Art des Expériences III. 10.

4 Anfangsgr. d. Phys. Leipz. 1754. 8. p. 130.

durch den hölzernen Querbalken D vermittelst der Schrauben K, K festangedrückt. Aus der Mitte des Tellers führt ein Canal zum Boden der Compressionspumpe F X, worin sich ein Blasenventil befindet, und bei welcher die Kolbenstange mit der Handhabe Q nebst dem aufgeschraubten Deckel W, um den aufgezogenen Embolus zurückzuhalten, damit er nicht ganz herausgeht, und dem Löchelchen bei α zum Eindringen der Luft nach dem Aufziehen des Embolus für sich deutlich sind. Die schräge Richtung der Pumpe erleichtert sehr die Arbeit des Comprimirens. Bei B ist eine Schraube, welche geöffnet wird, wenn man die comprimirte Luft unter der Campane wieder entweichen lassen will. Endlich ist mit dem, vom Teller zum Boden der Compressionspumpe führenden Canale das messingne Stück R, mit der eingekitteten, auf einer elfenbeinernen Scale liegenden starken Glasröhre S, verbunden, in welcher lezteren sich eine bis zum Null der Scale reichende Quecksilbersäule befindet. Indem dann die Luft unter der Campane comprimirt wird, drückt sie zugleich gegen die Quecksilbersäule, und man schliefst aus dem verminderten Raume, welchen die zusammengedrückte Luft in der Röhre einnimmt, nach dem *mariotteschen Gesetze* auf den Grad der Verdichtung. Diese Art der *Compressionsmesser* ist die einfachste, sicherste und am meisten gebräuchliche.

Auch andere Künstler haben diese Arten von Compressionspumpen mit unbedeutenden Veränderungen ausgeführt. Dahin gehören z. B. die von Greppin und Billiaux nach Art der Nolletschen Luftpumpe verfertigte [1], die von Dumotiez der zweistiefeligen Luftpumpe nachgebildete [2] u. a. m. Weil indefs die Blasenventile bei sehr starkem Drucke zerreifsen und ohnehin leicht ungenau schliefsen, so ist es am rathsamsten für die Compression der Luft überhaupt, Kegelventile anzuwenden, wie sie bei den einfachen und im Allgemeinen zweckmäfsigsten *Compressionspumpen der Windbüchsen* allgemein gebräuchlich sind. Sie bestehen aus einem eisernen Stiefel C C, in welchen die zur Aufnahme der verdichteten Luft bestimmte

Fig. 76.

1 J. de Ph. XIX. 438.
2 Ebend. XXXI. 431.

Kugel B vermittelst einer starken Schraube geschroben ist. Die Kugel, oder bei einigen Windbüchsen der Kolben, muſs von Eisen seyn, oder von getriebenem Kupfer, und im letzteren Falle fast 0,5 P. Z. Metallstärke haltend. Bei d d, wo beide Hälften zusammengeschroben und dann hart gelöthet werden, muſs die Metallstärke nahe 1 Z. betragen. Die Compressionspumpe ist im Mittel 2 bis 2,5 F. lang und nur 0,5 Z. inwendig weit, wie denn nach aërostatischen Gesetzen die Compression so viel weiter getrieben werden kann, je enger die Pumpe ist. An der Handhabe A befindet sich die eiserne Stange a a mit dem Embolus β, welcher aus Scheiben von Sohlenleder, zwischen zwei eisernen Platten festgeschroben und abgedrehet besteht. Er muſs anfangs sehr compress in dem Stiefel beweglich, hinlänglich lang und mit Oel getränkt seyn, welches am besten in die Scheiben dringt, wenn man sie anfänglich mit warmen Wasser durchnäſst und dann mit Pomade aus geschmolzenem Wachs und Oel tränkt. Das obere eiserne Stück der Kugel e e hat eine conische Oeffnung und darin das eingeschliffene, oder auch wohl mit einer feinen ledernen Kappe überzogene Kegelventil α, welches anfänglich durch die Spiralfeder β verschlossen wird, nachher aber wegen des starken Luftdruckes von selbst genugsam angedrückt wird. Oben im Stiefel bei g befindet sich ein kleines Löchelchen, so hoch, daſs es bei aufgezogenem Embolus gerade unter demselben ist, durch welches die Luft oder das Gas, letzteres aus einer Thierblase oder einer sonstigen Vorrichtung eingesogen, zum Comprimirtwerden eindringt. Bei den Tyroler und den in Wien verfertigten *Windbüchsen* soll der Embolus der Compressionspumpen bloſs aus einer einzigen Scheibe sehr dicken Sohlenleders β β bestehen, welches unten an die Stange a a geschroben mit Gewalt in den Stiefel gepreſst wird, so daſs es nach Unten eine concav gewölbte Fläche bildet, und weil es des engen Raumes wegen nicht wieder eben werden kann, der am stärksten comprimirten Luft keinen Ausweg verstattet. Ich kenne indeſs diese Einrichtung nur aus mündlich mitgetheilten Beschreibungen.

Fig. 77.

Unter diese Art von Compressionspumpen gehört auch diejenige, welche Cuthberson für Thomas Northmore verfertig-

te [1], um die Veränderungen zu untersuchen, welche Gasgemische durch starke Compression erleiden. Sie hat indefs nichts ausgezeichnet Eigenthümliches, indem sie blofs aus einer gewöhnlichen Compressionsröhre mit einem angeschrobenen Verbindungsstücke besteht, um an dieses wieder den erforderlichen Glasrecipienten zu schrauben. In dem Verbindungsrohre befindet sich ein durch eine Feder niedergedrücktes Kegelventil und eine seitwärts angeschrobene Verbindungsröhre mit einem Hahne und einer Blase, um die erforderlichen Gasarten zuzuführen. Der Glasrecipient hatte aber nur 0,5 Z. Glasesdicke, und die gröfste Verdichtung ging daher nur bis zur achtzehnfachen atmosphärischen.

Wenn man annimmt, dafs beim Comprimiren weder neben dem Embolus noch durch die Schrauben und Ventile überall keine Luft entweicht, so läfst sich der Grad der Verdichtung leicht finden. Heifst nämlich die Dichtigkeit der comprimirten expansibelen Flüssigkeiten d, die der äufsern Luft $= 1$ gesetzt, der Inhalt des Gefäfses, worin die Luft comprimirt wird $= V$, des Stiefels nach Abzug des Raumes, welchen der Embolus einnimmt $= v$, die Zahl der Kolbenstöfse $= n$, so ist:

$$d = \frac{V + nv}{V};$$

wonach d für einen unendlichen Werth von n gleichfalls unendlich werden müfste, wenn das mariottesche Gesetz absolut gültig und die Sache überhaupt ausführbar wäre. Besser mifst man, so weit dieses Gesetz gewifs gültig ist, den Grad der Verdichtung vermittelst des oben angegebenen *Compressionsmessers* R S. Nur in sehr seltenen Fällen dürfte man daher veranlafst werden, von dem durch Seaward [2] angegebenen, der sogenannten Birnprobe ähnlichen Apparate Gebrauch zu machen. Dieser besteht aus einem eisernen oder gläsernen Gefäfse A mit Quecksilber, welches anfänglich durch die Röhre a eingefüllt werden kann, so lange die Röhre c c bei d noch offen ist, bis dasselbe ihre Mündung bei f sperret. Schraubt man nachher die Schraube bei d fest, setzt den Apparat unter die Campane, welche die comprimirte Luft enthält, so dringt

Fig. 75.

Fig. 78.

1 G. XXX. 283.

2 Phil. Mag. and Journ. 1824. Jan. p. 36.

diese durch a, treibt das Quecksilber durch die Röhre b in den Raum B, und die Höhe, bis zu welcher dasselbe in der Röhre c c aufsteigt, zeigt den Grad der Verdichtung. Daſs dieses erst neuerdings erfundene Instrument einem einfachen *Manometer* [1] nachsteht, lehrt der Augenschein, und es verdient also nicht unter die physikalischen Apparate aufgenommen zu werden. So lange übrigens die Verdichtung nicht über diejenige Grenze hinausgeht, für welche das Mariottesche Gesetz noch als gültig erwiesen ist, kann die Stärke der Condensation vermittelst des Manometers gemessen werden. Wäre es aber möglich, dieselbe bis auf hundert und mehrere hundert Atmosphären zu treiben, so würde uns bis jetzt noch das Mittel fehlen, diese genau zu messen, so wichtig es auch für verschiedene, in den neuesten Zeiten theils angestellte theils vorgeschlagene Versuche seyn würde, die Verdichtung genau bestimmen zu können.

Die Condensations- oder Compressionspumpen haben einen sehr eingeschränkten Gebrauch, wie man denn überhaupt die comprimirte Luft weit weniger als die verdünnte anwendet. Oft wird dieselbe angewandt im Windkessel der Feuerspritzen und bei sonstigen hydraulischen Maschinen, bei den verschiedenen Arten der Gebläse u. s. w. Als bloſse Spielwerke sind die Heronsbälle und ähnliche Apparate zu betrachten, vermittelst derer man das Wasser durch verdichtete Luft aus feinen Röhrchen springen läſst, wie ein solcher nach der gewöhnlichen Construction aus der bloſsen Zeichnung hinlänglich klar ist, und leicht auf mannigfaltige Weise, theils rücksichtlich des Gefäſses A, worin sich das Wasser und die comprimirte Luft befindet, theils hinsichtlich des Spritzen-Rohres b und seiner verschiedenen und vielfach gestalteten Oeffnungen abgeändert werden kann [2].

Fig. 79.

2. Compressionsmaschinen für Wasser.

Unter die Compressionsmaschinen können auch diejenigen Apparate gerechnet werden, deren man sich bedient hat, um die

1 Vergl. *Manometer*.

2 Ueber den Einfluſs der verdichteten Luft auf organische Wesen, auf die Stärke des Schalles, des Verbrennens u. s. w. wird an den geeigneten Stellen gehandelt.

Elasticität des Wassers zu erforschen. Die Mitglieder der *Academia del Cimento* bedienten sich zuerst der Kugeln, die sie anfangs von Glas, nachher von Kupfer mit gläsernen Röhren machten, erkälteten das Wasser darin und dehnten es dann durch Wärme aus, wobei die Röhren oder die Kugeln zerbrachen. Auch durch die Dämpfe des Wassers suchten sie das Wasser zu comprimiren, eine Vorrichtung, welche spärter v. Edelkranz wieder in Vorschlag gebracht hat [1]. Nachher füllten sie das Wasser in starke gläserne Röhren, worin eine engere lange Röhre so gesenkt war, dafs Quecksilber unter das Wasser trat, ohne dafs letzteres oben entweichen konnte, und drückten es auf diese Weise durch eine vier Ellen hohe Quecksilbersäule, ohne Verminderung des Volumens wahrzunehmen. Endlich schlossen sie dasselbe in silberne Kugeln ein, schroben diese mit einem Deckel zu und verlötheten diesen, hämmerten sie dann zusammen, wodurch das Wasser, wie sie meinten, die Poros des Metalles zu durchdringen gezwungen wurde [2]. Schon Baco von Verulam hatte diesen Versuch mit bleiernen Kugeln in der Art angestellt, dafs er sie mit Wasser füllte, dann zuschmolz und zwischen einem Schraubstocke platt prefste, wobei ihm gleichfalls das Wasser durch die Poren des Bleies zu dringen schien [3]. Musschenbroek wiederholte dieses Experiment mit bleiernen und zinnernen Kugeln, und erhielt ein gleiches Resultat [4], zeigte auch sehr richtig, dafs das von Honoratus Fabry und Boyle [5] beobachtete fontainenartige Herausspringen des Wassers aus solchen Kugeln nach der Erzeugung einer kleinen Oeffnung eine Folge der Elasticität des Metalles, aber nicht des Wassers sey. Du Hamel [6] nahm eine blofse Compressionspumpe, um mit dem Stempel derselben das Wasser zusammenzudrücken.

In England bediente man sich, um zu zeigen, dafs das

---

1 Pfaff und Friedländers J. St. V. p. 76.

2 Musschenbroek Tent. Exper. cet. II. 59. Vergl. Saggi di naturali Experienze, fatte nell' Academia di Cimento cet. 1661. fol. p. 197.

3 Opera omn. transl. op. S. I. Arnoldi. Lips. 1694. fol. p. 390.

4 a. a. O. p. 65.

5 Vergl. Boyle Opp. Var. Genevae 1677. 4. exp. XX.

6 Philosophia Vetus et Nova. Par. 1681. 4. Lib. III. cap. 4.

Wasser nicht compressibel sey, zinneser Kugeln mit einem dikken Aufsatze, worin eine weibliche Schraube geschnitten war. Die Kugel wurde mit Wasser gefüllt, dann eine eiserne männliche Schraube hineingeschroben, worauf das Wasser tropfenweise durch das Metall drang oder in sehr feinen Strahlen herausspritzte. Eine solche erhielt HOLLMANN von SHAW in England, und leitete das Durchdringen des Wassers von der Porosität des Metalles her [1], LICHTENBERG aber erklärte dasselbe in seinen Vorlesungen richtiger aus einem Zerreifsen desselben. FONTANA [2] bediente sich zur Compression des Wassers eines hohlen metallenen Cylinders mit einem viereckten Aufsatze von starken Glasplatten. Hierin stand ein Gefäfs mit Wasser, welches in ein Haarröhrchen endete; die Luft um dasselbe wurde durch eine gemeine Compressionspumpe verdichtet, und es sank das Wasser in dem durch die Glasplatten gesehenen Haarröhrchen. Eines ähnlichen Apparates bediente sich CANTON, um die Compressibilität verschiedener Flüssigkeiten zu untersuchen, nämlich einer Kugel mit einem langen und engen Rohre, deren Inhaltsverhältnifs genau untersucht war. Diese füllte er mit den zu untersuchenden Flüssigkeiten, brachte sie dann zuerst unter eine Luftpumpe, dann eine Condensationspumpe, und mafs, wie viel sie sich durch Entfernung des Luftdruckes ausdehnten, demnächst aber durch den einfachen und doppelten Luftdruck zusammengedrückt wurden [3].

Diese letzteren Vorrichtungen sind für ihren Zweck ohne Widerrede die vorzüglichern, und verdienen vor verschiedenen andern den Vorzug. Dahin gehört vorzüglich die durch HAMBERGER [4] und NOLLET [5] gebrauchte Glasröhre, welche nach Art der Mariotteschen gekrümmt war, aber im kürzeren Schenkel Wasser statt Luft, und im längeren das zusammendrückende Quecksilber enthielt, wobei es in die Augen fallend ist, dafs die geringe Elasticität des Wassers wegen der gröfseren des Glases nicht genau beobachtet werden kann. Eben diesem Fehler un-

---

1 Sylloge Comment. Gott. 1762. 4. p. 34.
2 Journ. des Sçavans. 1777. Juillet.
3 Phil. Trans. 1762. p. 640. 1764. p. 261. Hamb. Mag. XII. 360.
4 Elementa Physices. p. 171.
5 Leçons de Phys. I. 122.

terliegt auch diejenige Compressionsmaschine, wodurch Abich seine bekannten Versuche angestellt hat [1]. Sie besteht aus dem messingenen Stiefel CCCC welcher oben und unten enger, in der Mitte weiter ausgebohrt ist. Oben befindet sich die eiserne Fassung PQRS, durch welche die Stange T geht, unten mit 12 in Fett gekochten ledernen Scheiben versehen, deren Schliefsung, wenn sie durch die eiserne Platte $\alpha\beta$ zusammengeschroben waren, einen solchen Grad der Genauigkeit erreichte, dafs zur bloſsen Ueberwindung der Reibung 80 ℔ Kraft erfordert wurden. Indem daher hierdurch auch die Luft comprimirt werden mufste, war unten das eiserne, mit Leder umgebene Kegelventil n angebracht, welches vermittelst der aufliegenden eisernen Scheibe uu und der Schraube v festgeschroben wurde, nachdem die Maschine umgekehrt, und von unten mit Wasser gefüllt war. Auf das obere Ende der Stange T drückte anfangs eine Schraube, nachher der leichteren Rechnung wegen ein Hebelarm mit einem Gewichte an seinem Ende, und aus der Tiefe, bis wie weit der Embolus niedergedrückt werden konnte, und dem Inhalte des Stiefels wurde die Stärke der Zusammendrückung durch ein gegebenes Gewicht berechnet. Man sieht bald, dafs wegen der Elasticität des messingnen Stiefels und des, wenn auch noch so geringen Eindringens von Wasser zwischen den Embolus die Compression des Wassers nie genau gefunden werden kann. Eben diesem Fehler unterliegt die durch C. H. Pfaff [2] vorgeschlagene Compressionsmaschine, welche aus einer gläsernen Flasche A und einem damit verbundenen langen Rohre B besteht. Wird die erstere mit Wasser gefüllt, auf welches eine in dem letzteren befindliche Quecksilbersäule von veränderlicher Höhe drückt, so wird das Wasser comprimirt. Verschliefst man demnächst den Hahn b und öffnet den Hahn a, so steigt das Wasser im Haarröhrchen C um so viel, als seine Zusammendrückung beträgt [3].

Fig. 80.

Fig. 81.

---

1 Ueber d. Elasticität des Wassers u. s. w. von E. A. W. Zimmermann. Leipz. 1779. 8.

2 G. LXXII. 161.

3 Der Apparat, obgleich in seiner jetzigen Einrichtung aus dem angegebenen Grunde unbrauchbar, ist deswegen aufgenommen, weil er sich vielleicht so abändern läfst, dafs die Elasticität des Gefäfses A von

Dem hier gerügten Fehler unterliegen die beiden folgenden Apparate nicht.

Perkins *Piezometer* [1] besteht aus einem wasserdichten metallenen hohlen Cylinder A, auf welchen der Deckel C festgeschroben wird. In dem letzteren bewegt sich wasserdicht der Cylinder D, dessen verhältnifsmäfsige Gröfse gegen den Inhalt des hohlen Cylinders bekannt seyn mufs. Durch einen starken äufseren Druck wird dieser Cylinder in den gröfseren, mit Wasser gefüllten, bis zu einer Tiefe eingedrückt, welche der federnde Ring a angiebt, und hieraus die Compression berechnet.

Fig. 82.

Diesen Cylinder setzte Perkins in einen Kanonenlauf mit einem Deckel, worin sich eine Compressionspumpe und ein Ventil befand, welches durch aufgehängte Gewichte, für jede Atmosphäre 1 ℔, die Stärke des Druckes angab. Ein Druck von 100 Atmosphären zeigte eine Zusammendrückung von 0,01 des Wassers, und eben dieses Resultat wurde erhalten, als Perkins das Instrument bis zu einer Tiefe von 500 fathoms (3000 F. engl.) in die See herabsenkte.

Um indefs die Reibung und Zusammendrückung des Leders um den Cylinder D in der Lederbüchse zu vermeiden, verfertigte Perkins ein anderes Instrument. Dieses besteht aus einem eisernen, in der Mitte etwas zusammengedrückten Cylinder A, in welchen die mit einem genau schliefsenden Ventile verschlossene Röhre E führt. Das Instrument wird mit Wasser gefüllt, dann in eine Wasserpresse gesetzt, und die Menge des durch einen gemessenen Druck eingedrungenen Wassers nach dem Herausnehmen durch das Gewicht bestimmt. Ein Druck von 326 Atmosphären hatte die Menge des Wassers um 0,035 vermehrt.

Fig. 83.

Sehr genaue Versuche mit einem, dem Cantonschen ähnlichen Apparate, stellte Oerstedt [2] an, und nahm zur Umge-

---

keinem weiteren Einflusse bleibt, z. B. wenn man Wasser zugleich im Gefäfse A und um dasselbe zusammendrückte, den Einflufs des letzteren aber nach dem Verschliefsen des Hahnes b und vor dem Oeffnen von a aufhöbe.

1 Phil. Trans. 1820. 324. G. LXXII. 173.

2 Denkschriften der Copenhagener Soc. 1822. Annals of Phil. 1823. Jan. 53.

bung der Röhre, worin die Compression vorgenommen wurde, gleichfalls Wasser, um dem Einwurfe zu entgehen, daſs bei jenen Versuchen durch die Compression der Luft Wärme entwikkelt sey. Indeſs wird bei langsamer Compression nur wenig Wärme ausgeschieden, und diese bald wieder abgeleitet, wenn der Apparat eine Zeitlang ruhig steht; weswegen Cantons Vorrichtung in so fern vorzüglicher ist, als sie dagegen sichert, daſs sich nicht durch die Gesetze der Anziehung etwas Wasser neben dem sperrenden Quecksilber vorbeidrängt. Oerstedt's Apparat bestand aus einer starken Glasröhre A B C D auf einem hölzernen Fuſse. Oben auf dieselbe war eine messingne Fassung E gekittet, und eine in diese gehende Schraube F comprimirte das Wasser in der Röhre. In dieser lezteren stand ein bleierner Cylinder d mit Drähten, welche die Scalen trugen. Das gläserne Gefäſs a, zur Messung der Compression bestimmt, war mit Wasser gefüllt, und endigte in ein feines Haarröhrchen, wovon 1 Lin. nur 0,000005501 vom Inhalte der Flasche ausmachte. Das Wasser in derselben war oben durch ein wenig Quecksilber gesperrt, um die Grenze desselben bei der Zusammendrückung genau zu bezeichnen. Neben dieser Röhre war eine andere e f mit Luft gefüllt und mit Quecksilber gesperrt, um nach dem mariotteschen Gesetze den Grad der Zusammendrückung zu messen. In wiederholten Versuchen, wobei die Compression bis zum fünffachen Drucke der Atmosphäre bei 15°,5 Temp. getrieben wurde, fand Oerstedt 1. daſs der Grad der Zusammendrückung der zusammendrückenden Kraft direct proportional ist, und 2. daſs das Gewicht einer Atmosphäre das Volumen des Wassers um 0,000047 vermindert. Aus dem ersten Satze wäre also die vollständige Elasticität des Wassers als erwiesen anzusehen [1].

Fig. 84.

3. Allgemeine Compressionsmaschinen.

Die meisten der bisher angegebenen Compressionsmaschinen lassen sich zwar sowohl zur Zusammendrückung der expansibelen als auch der tropfbaren Flüssigkeiten anwenden, indeſs giebt es auch andere, welche ursprünglich für einen solchen

---

1 Vergl. *Elasticität.*

allgemeinen Gebrauch construirt sind, und es läfst sich aufserdem die Zahl dieser Apparate nach den einmal bestehenden Grundsätzen leicht vervielfältigen. Eine solche ist die, zunächst zum Filtriren, Aussüfsen u. s. w. bestimmte, aber leicht zum allgemeinen Gebrauche einzurichtende Druckpumpe, welche Reesold verfertigt und G. Emscke beschrieben hat [1]. A B ist ein Dom von getriebenem Kupfer [2] unten luftdicht auf einen metallenen Teller geschroben, oben mit einem Ventile E versehen, wovon jeder Einschnitt zwei Atmosphären entspricht. Unter diesen werden die Gefäfse mit denjenigen Substanzen gesetzt, auf welche man den Druck der Luft oder des Wassers wirken lassen will. Die Druckpumpe H mit ihrem Mechanismus ist aus der Zeichnung kenntlich. Aufserdem aber befindet sich bei m ein Hahn, und bei c eine mit einem Ventile verschlossene Zuleitung, durch welche Luft oder Flüssigkeiten in den Zuleitungs-Canal gelangen, und vermittelst der Compressionspumpe unter den Recipienten geprefst werden können.

Fig. 85.

Weil man in den neuesten Zeiten schon verschiedene Gasarten durch hohen Druck tropfbar flüssig gemacht hat, aufserdem aber eine sehr starke Compression höchst wahrscheinlich manche Processe der Verbindungen, Krystallisationen u. s. w. bedingt; so mufs daran gelegen seyn, die Zusammendrückung der expansibelen und tropfbaren Flüssigkeiten möglichst weit zu treiben. Eine hierzu bestimmte Maschine lasse ich gegenwärtig ausführen, und kann daher vorläufig nur die Idee angeben. Es sind hierzu bestimmt zwei allerdings schwer zu verfertigende Cylinder von Glas, 8 Z. im Durchmesser haltend, 3 Z. hoch mit einer Oeffnung von 2 Z. Dafs das Glas dieser unförmlichen Dicke ungeachtet noch hinlänglich durchsichtig geblieben ist, zeigt die Möglichkeit der Ausführung, und vielleicht lassen sich auch solche Cylinder von 6 oder gar 8 Z. Höhe verfertigen, welches ungleich besser seyn würde, als die Cylinder, nachdem sie auf beiden Seiten eben geschliffen sind, ver

1 Schweigg. J. XXXI. 90.

2 Für einen allgemeinen Gebrauch müfste statt dessen ein gläserner hohler Cylinder von hinlänglicher Stärke genommen werden, um die im Innern vorgehenden Veränderungen wahrnehmen zu können.

mittelst zwischenliegendem Leder und Terpentin, oder einem sonstigen Kitte aufeinander zu legen, um die gröfsere Höhe zu erhalten. Die übrige Construction ergiebt sich von selbst, und besteht darin, dafs dieser Glascylinder oben und unten hinlänglich starke, wenigstens einen Zoll dicke, fest aufgekittete und durch Schrauben gesicherte Deckel erhält, wovon der obere mit einer geeigneten Compressionspumpe versehen werden mufs, deren Embolus mit einer Schraube niedergedrückt, dem Entwurfe nach eine Compression von 500 bis 1000 Atmosphären hervorbringen soll. Der innere Raum wird dann mit Wasser gefüllt, das Gefäfs mit der zu comprimirenden Substanz hineingesetzt, und durch Hineinpressen von Wasser die Compression bewirkt, wobei vorläufig der Grad der Zusammendrückung vermittelst einer kleinen Röhre, worin die Luft durch Quecksilber gesperrt ist, nach dem Mariotteschen Gesetze gemessen werden soll. *M.*

Concavgläser.

Hohlgläser; *Vitra concava, lentes concavae*; Verres concaves; *Concave glasses, concave lenses*; sind diejenigen sphärisch geschliffenen Gläser, welche eine hohle Oberfläche darbieten. Sie können an beiden Seiten concav oder an der einen concav und an der andern eben oder gewölbt seyn. Darauf beziehen sich die Namen, concav-concav, plan-concav, concav-convex. Die beiden ersten zerstreuen allemal die Lichtstrahlen, und die leztern thun eben dieses dann, wenn die Erhabenheit einem gröfsern Durchmesser als die Höhlung zugehört [1]. *B.*

Concavspiegel s. Hohlspiegel.

Condensator der Elektricität.

Condensator electricitatis; Condensateur de l'électricité; *Condenser*. Dies ist ein von Volta im Jahre 1783 erfundenes, höchst nützliches Werkzeug, wodurch auch die allerschwächsten Grade der natürlichen sowohl als künstlich erzeugten Elektricität merklich gemacht werden können.

---

1 S. *Linsengläser*.

1. Geschichtliche Untersuchung.

Eine zufällige Beobachtung eines Liebhabers der Physik, des Marquis Bellisoni in einem Zeitpuncte, wo Volta schon mit Untersuchung der Wirkung von Leitern auf einander bei der bloſsen Annäherung beschäftigt war, leitete die Aufmerksamkeit des Letzteren auf die Erhöhung der Capacität für Elektricität, welche man im Metalldeckel des Elektrophors wahrnimmt, wenn er, statt auf den Harzkuchen gesetzt zu werden, auf einen unvollkommenen Leiter gelegt wird, und veranlaſste ihn, davon weitern Gebrauch zu machen. Nach der ursprünglichen Einrichtung, die Volta dem Condensator gab, bestand derselbe aus zwei Haupttheilen: 1. einer Platte von einer halbleitenden oder schlechtleitenden Materie, 2. einem Deckel oder Teller, die sogenannte Collectorplatte, in welcher die Elektricität verdichtet wird, von derselben Beschaffenheit, wie der Deckel oder die Trommel des Elektrophors, welche man mit seidenen Schnüren oder einem isolirenden Handgriffe von Glas aufheben oder niederlassen kann.

Zur *Platte des Condensators* schlug Volta insbesondere die sogenannten *Halbleiter* vor, welche sich der Natur der elektrischen Körper oder der vollkommenen Isolatoren nähern, aber doch noch einige Leitung gewähren, namentlich Platten von trockenem und reinem, vorzüglich weiſsem, *Marmor* wie den von Carrara (den gefleckten fand er weniger tauglich) von Alabaster, Achat, Chalcedon, Elfenbein, doch nur, wenn es vorher scharf getrocknet war, Schildplatt, mit Leinöl getränktes, oder beinahe bis zum Rösten im Backofen erhitztes und gefirniſstes Holz, trockenes Leder, Pergament, Papier u. s. w. Die Platten von diesen Materien wurden von Volta auf Unterlagen gesetzt, durch welche sie mit dem Erdboden in vollkommener leitender Verbindung sich befanden. Doch erinnerte Volta, daſs man, statt der angegebenen *Halbleiter* zur Unterlage oder Basis des Condensators auch *vollkommen elektrische* oder *isolirende Körper* gebrauchen könne, wofern sie nur einen guten mit der Erde verbundenen Leiter zu ihrer eigenen Unterlage hätten. Dazu schlug Volta ein mit Siegellack, oder mit Taffent oder Wachstaffent, oder mit einer dünnen Schicht eines guten Firnisses überzogenes Blech, oder sonstige Metall-

platte vor, auch Holz (wie eine Tischplatte) mit Siegellack, Firnifs oder Wachsleinwand überzogen, ölfarbene Gemälde, Sammt, oder seidne Stoffe über Mauern, Tische und dergl. gezogen, kameelhärne und sehr trockene wollene Zeuge. Dem *Teller* oder *Deckel* (der *Collector-Platte*) gab Volta die ganz gleiche Einrichtung, wie die des Deckels des Elektrophors, wobei er als die Hauptbedingung seiner zweckmäfsigen Beschaffenheit, die vollkommene Abrundung, Abwesenheit von allen Ecken und Schärfen und das genaueste Anpassen mit ganz ebener Oberfläche an die Unterlage aufstellte.

Eine noch einfachere Vorrichtung, deren sich Volta bediente, war, die Basis oder Unterlage zum Deckel oder zur Collector-Platte selbst zu machen, namentlich eine kleine recht ebene Marmor-Platte, mit Ausnahme ihrer untern Fläche, mit Stanniol zu überziehen, eben so die untere Fläche einer sonst mit Stanniol überzogenen recht ebenen Holzscheibe an ihrer untern Fläche mit einer Schicht von Siegellack oder Firnifs oder einer einfachen oder doppelten Taffentlage zu versehen, wo es dann beim Gebrauche hinreichte, sie auf irgend eine ebene Oberfläche eines mit der Erde in Verbindung stehenden Leiters z. B. eines Buchs, Tisches u. s. w. aufzusetzen, um die ganze Wirkung des Condensators zu haben.

Da bei der Anwendung einer mit einem isolirenden Ueberzuge von Firnifs, Siegellack u. dgl. versehene Unterlage leicht eine eigenthümliche Elektricität, wie beim Elektrophor, durch das Aufsetzen und Andrücken der Collector-Platte erregt werden kann, worauf Cavallo [1] aufmerksam machte, so schlug Lichtenberg zur Vermeidung der dadurch entstehenden Unsicherheit des Werkzeuges eine Luftschicht statt jenes elektrischen Ueberzuges vor, wo freilich die Basis nicht mehr elektrophorisch wirken konnte, weil der Hauptkörper, aus welchem er dann besteht, die Luft, jeden Augenblick wechselt. Lichtenberg gab hierzu folgende nähere Einrichtung an: Auf eine Metallplatte, wozu die äufsere Seite jedes flachen zinnernen Tellers gebraucht werden kann, lege man drei Stückchen Glas, so klein als man sie nur, z. B. aus zerschlagenem Fensterglase

1 Phil. Trans. 1788. LXXVIII. 1. ff.

erhalten kann, ohngefähr in einem gleichseitigen Triangel. Je kleiner die Stückchen gemacht sind, um so besser. Lichtenberg hat sie so klein genommen, daſs sie die Gröſse des Buchstabens o von sehr kleinem Druck nicht überstiegen. Auf diese drei Puncte wird nun der Deckel des Condensators gesetzt, und übrigens wie sonst in den Versuchen mit dem Condensator verfahren. Die Absicht ist bloſs eine *dünne Luftschicht* zwischen zwei Leitern zu erhalten. Gröſsere Stücken Glas, etwa von einen Quadratzoll, würden für die genauere Untersuchung alles verderben, sie würden aus dem *Condensator* einen *Elektrophor* machen, der zwar an sich sehr schwach, aber immer noch überwiegend stark für die feinen Versuche wäre, für welche das Werkzeug bestimmt ist [1]. Weit zweckmäſsiger als die kleinen Stückchen Glas sind die von J. T. Mayer vorgeschlagenen Tröpfchen Siegellack oder Schellack, welche die Spitzen eines gleichschenklichen Dreiecks bildend, auf die untere Platte getröpfelt werden, daran festsitzen und eine Luftschicht zwischen beiden Platten zurück lassen [2]. Diese Luftschicht als Mittel zur Condensation wandte dann auch Cavallo in einem mehr künstlichen Apparate an, als er von Lichtenberg vorgeschlagen war, in seinem *Collector* [3], so wie John Read und Cuthberson in ihrem sogenannten *doppelten Condensator* [4]. Bennet verband den Condensator unmittelbar mit seinem Goldblattelektrometer [5].

2. Zweckmäſsigste Einrichtung und Gebrauch des Condensators.

Wenn gleich die nützliche Erfindung Voltas von der Eigenschaft der sogenannten Halbleiter ausging, zwar die Vertheilung der Elektricität oder die Atmosphärenwirkung durch sich hindurch zuzulassen, nicht aber die Mittheilung, wenn sie nur in gehörig ebenen Flächen mit den Leitern in Berührung kom-

---

1 Anm. zu Erxlebens Anfangsgründen der Naturlehre. 6te Auflage §. 538. g.

2 Anfangsgründe der Naturlehre. Gött. 1820. p. 478.

3 S. *Collector*.

4 S. unten.

5 Phil. Trans. 1787. LXXVII. I. 32.

men, auch VOLTA am häufigsten bei seinen Versuchen sich einer *Marmorplatte* bedient zu haben scheint, so ist man doch in neuern Zeiten von dieser Einrichtung abgekommen. Es ist nicht leicht, sich eine gute Marmorplatte zu diesem Behufe zu verschaffen. VOLTA bemerkt selbst, dafs der gefleckte Marmor hierzu nicht tauge. Auch versagen die Marmorplatten in feuchter Luft gewöhnlich ihren Dienst, und man mufs sie, da sie sehr hygrometrisch sind, vor dem Gebrauche jedesmal erwärmen, wobei man Gefahr läuft, dafs sie Risse bekommen. Andere Halbleiter sind noch weniger brauchbar. In jeder Rücksicht verdienen daher diejenigen Condensatoren den Vorzug, bei welchen eine möglichst dünne nicht leitende Schicht die condensirende Wirkung vermittelt. Man schleift zu diesem Behuf zwei Metallplatten auf das sorgfältigste von einander ab, gleichviel ob von Messing oder Kupfer (zu gewissen, namentlich galvanischen Versuchen können indessen auch Condensator-Platten von Zink und Zinn erforderlich seyn), die eine gehörige Dicke nach Mafsgabe ihres Durchmessers haben müssen, damit sie sich nicht im mindesten biegen. Zum sogenannten doppelten Condensator sind Platten nöthig, deren Durchmesser in dem Verhältnisse von wenigstens 10:1 steht, wo man dann den kleinern etwa einen Pariser Zoll im Durchmesser giebt. Beide zur vollkommensten Ebene an einander abgeschliffene Platten, werden mit einer recht dünnen Schicht Firnifs auf das gleichförmigste überzogen, so dafs der Firnifs eine recht ebene Fläche bildet. Ich finde Bernsteinfirnifs am besten, da andere Arten von Firnifs z. B. von Mastix, Copal u. a. sich zu leicht abreiben, der Bernsteinfirnifs auch vorzüglich gut isolirend ist. Es ist hier nur von Condensatoren die Rede, welche Elektricitäten von höchst schwacher Spannung, wie z. B. die Berührungs-Elektricität eines einzelnen Paars von Körpern merklich machen sollen, bei welchen die trennende Schicht des Nichtleiters nicht dünn genug seyn kann. Eine auch noch so dünne Glasscheibe zwischen den beiden Platten würde diesen Vortheil nicht gewähren, auch hängt sich zu leicht Feuchtigkeit an die Glasscheibe an, wodurch eine Mittheilung der Elektricität von einer Platte zur andern veranlafst wird. Aus dem erstern Grunde ist auch LICHTENBERGS Vorschlag nicht zu empfehlen, da die Dicke auch von Stückchen vom dünnsten Fensterscheibenglas immer noch viel

zu grofs ist, auch solche Stückchen gewöhnlich von ungleicher Dicke ausfallen, endlich die Ecken und scharfen Kanten derselben zu einer Ueberführung der Elektricität von einer Metallplatte zur andern Gelegenheit geben könnten. Mir wenigstens hat es nie mit dieser Einrichtung gelingen wollen. Auch Taffent zum Ueberzuge der Platten ist nicht zu empfehlen, weil ein solcher Condensator nicht mit sich selbst vergleichbar ist, indem der mehr oder weniger starke Druck der Platten auf den Taffent ihre Entfernung und eben damit den Grad der Condensation wechseln machen kann. Eine Hauptsache ist, dafs beide Platten an der Fläche, mit welcher sie sich berühren, überfirnifst seyen. Hat nur eine der beiden den Firnifsüberzug, so läuft man, wie vorsichtig man auch die eine Platte auf die andere aufsetzen mag, doch Gefahr, dafs durch das Reiben der Metallfläche an der Firnifsfläche, oder auch wohl durch den blofsen Druck, eine eigenthümliche, gleichsam elektrophorische Elektricität erzeugt werde, welche alle Anzeigen des Condensators unsicher und zweideutig macht. Dies hat man aber nicht leicht zu befürchten, wenn beide Flächen mit demselben Firnifs überzogen sind, weil durch das Reiben gleichartiger Körper an einander nicht leicht Elektricität erregt wird. Auch kann man eben darum, wenn etwa der Firnifs zu dick und ungleichförmig auf die Platten aufgetragen seyn sollte, durch gelindes Abreiben der Platten an einander, nachdem der Firnifs gehörig getrocknet ist, die Schichten ganz eben und so dünn, als man will, machen, ohne dafs dadurch auf elektrophorische Art Elektricität erregt wird. Für den Gebrauch ist es bequem, die eine Platte, welche mit dem Erdboden in Verbindung stehen soll, und die andere an ihrer obere Fläche mit einer isolirenden Handhabe, wozu eine wohl überfirnifste Glasstange am besten pafst, zu versehen. Die Zeichnung stellt die zwei Platten vor, wie sie auf einander ruhen, wenn die Elektricität condensirt werden soll. Die Schraubenmutter der Collector-Platte A mufs auch auf die Schraube in der Mitte der Messingfassung eines Bennetschen oder Bohnenbergerschen Elektrometers passen, um nöthigenfalls darauf geschraubt werden zu können, so wie dann auch die Glasstange der Collector-Platte auf die andere Platte mufs geschraubt werden können. Will man sich des Condensators bedienen, so setzt man die Platten auf einander,

Fig. 86.

berührt dann den Körper, dessen elektrischen Zustand man kennen lernen will, mit dem Endknöpfchen a eines metallischen Drahts, der in den Rand der obern bei dieser Anwendungsart den Dienst des Collectors versehenden Platte befestigt ist, welche Einrichtung den Vortheil gewährt, dafs man manche Körper bequemer mit der Collector-Platte in Verbindung bringen kann, und zwar unterhält man diese Verbindung nach den Umständen kürzere oder längere Zeit (von ein paar Secunden bis höchstens einige Minuten), wobei man besonders in den Fällen, wo Elektricitäten von sehr schwacher Spannung zu untersuchen sind, Sorge trägt, dafs die Collector-Platte auf die untere gut angedrückt werde, worauf man nach aufgehobener Verbindung mit dem zu untersuchenden Körper das Instrument niedersetzt, um mit aller Bequemlichkeit die Collector-Platte in die Höhe heben, und durch die Anbringung an ein Elektrometer die Elektricität derselben sowohl ihrer Stärke als ihrer Art nach, untersuchen zu können. Bei dem Aufheben der Platte ist besonders alle Sorgfalt darauf zu verwenden, die Platten in so paralleler Lage als möglich von einander zu trennen, denn würde man die Collector-Platte in schiefer Richtung aufheben, so würde sich die Elektricität derselben in dem Theile, der der untern Platte am nächsten ist, anhäufen, und ihre Anhäufung könnte daselbst einen Funken nach der untern Platte veranlassen, wodurch die Collector-Platte plötzlich entladen würde. In den meisten Fällen wird der Gebrauch des Condensators dadurch bequemer, dafs man die eine Platte auf ein Elektrometer schraubt, und diese Platte, welche nun als Collector-Platte dient, mit dem Körper oder dem Quell, dessen Elektricität man untersuchen will, durch den Metalldraht a in Verbindung setzt, während man die obere Platte, in die man die Handhabe der Collectorplatte nach der ersten Gebrauchsart eingeschraubt hat, mit dem Finger berührt, und dadurch eine Leitung nach dem Erdboden unterhält. Nach hinlänglich lange unterhaltener Verbindung der Collector-Platte mit dem Elektricitätsquell hebt man dieselbe auf, und entfernt mit der oben angegebenen Vorsicht die obere Platte, worauf die frei gewordene Elektricität der unteren Platte durch den Grad der Divergenz der Strohhälmchen oder Goldblättchen ihre Stärke und bei Anwendung eines Bohnenbergerschen Elektrometers ohne weiteres durch den Pol, nach wel-

Fig. 87.

chem das Goldblättchen sich hinbewegt, ihrer Art nach erkannt werden wird. In einzelnen Fällen kann es auch bequemer seyn, den Elektricitätsquell mit der obern Platte in Verbindung zu setzen, in welchem Falle man die untere auf das Elektrometer geschraubte Platte berührt, dann, wenn man voraussetzen darf, daſs die Ladung der obern Platte vollständig ist, den Finger wegzieht, und die obere Platte aufhebt, worauf die Strohhälmchen oder Goldblättchen mit der entgegengesetzten Elektricität von derjenigen der untersuchten Elektricitätsquelle divergiren, auch diese Elektricität dem Grade nach etwas schwächer seyn wird, als die des Elektricitätsquells selbst auf die vorige Art untersucht, sich gezeigt haben würde.

3. Theorie des Condensators.

Die Wirkung des Condensators ist diese, daſs der auf der nicht isolirten Basis stehende Deckel oder die sogenannte Collector-Platte nicht nur alle derselben mitgetheilte Electricität weit fester an sich hält, als wenn sie völlig isolirt wäre, (weswegen auch Volta seiner Abhandlung die Ueberschrift gab: *Von den beträchtlichen Vortheilen, welche eine so unvollkommene Isolirung, daſs man ihr kaum diesen Namen geben kann, vor der vollkommensten Isolirung voraus hat*), sondern auch in diesem Zustande weit mehr neue Elektricität anzunehmen fähig wird, oder nach Volta's Ausdruck, daſs sowohl die Tenacität (Anhaltungskraft) als auch die Capacität der Platte unter diesen Umständen verstärkt ist. Dies erklärt sich aus der Lehre von den elektrischen Wirkungskreisen und dem Gesetze der wechselseitigen Anziehung und Bindung der entgegengesetzten, und der Zurücklassung und dadurch erhöhten Spannung der gleichnahmigen Elektricitäten. Ein elektrisirter Körper strebt in andern Körpern, die in seine Nähe oder in seinen noch merklichen Wirkungskreis gebracht werden, eine der seinigen entgegengesetzte Elektricität hervorzubringen, oder die anziehende Wirkung seiner freien positiven oder negativen Elektricität ist lediglich auf ihren Gegensatz gerichtet, und häuft denselben gegen sich an, während sie die gleichnamige zurücktreibt. Wird daher ein isolirter Körper, der auf eben die Art und eben so stark elektrisirt ist, in den Wirkungskreis jenes ersteren gebracht, so wird seine Elektricität mit verstärkter Kraft heraus-

zugehen streben, weil zur eigenen Repulsivkraft ihrer Theilchen noch diejenigen der Elektricität des andern Körpers, der schon aus der Ferne wirkt, hinzugekommen ist, seine Elektricität wird mehr Intensität oder Spannung erhalten, und in demselben Verhältnisse wird auch des Körpers Fähigkeit, mehr von dieser Elektricität anzunehmen, oder seine Capacität verringert werden, weil die Grenze für die weitere Aufnahme dann eintritt, wenn die Spannung einen hinlänglichen Grad erreicht hat, um den Widerstand der Luft zu überwinden, und mit Zunahme der Spannung daher eher eintreten mufs. Auf gleiche Weise wird der elektrisirte Körper auf jenen ihm genäherten zurückwirken. Wenn man daher zwei isolirte Metallplatten mit daran hängenden Elektrometern (z. B. mit zwei Korkkügelchen die an feinen Leinwandfäden hängen) beide entweder positiv oder negativ elektrisirt, und sie einander allmälig nähert, so werden die Elektrometer, welche durch die Divergenz der Korkkügelchen die Spannung messen, durch ihr stärkeres Auseinandergehen zeigen, dafs ihre Elektricitäten bei mehrerer Annäherung an einander immer stärker werden. Damit dieser Versuch vollkommen gelinge, mufs die Luft recht trocken und die Platten müssen wohl abgerundet seyn. Am besten sieht man diesen Erfolg, wenn man die eine Platte auf ein Strohhalmelektrometer unmittelbar geschraubt hat, bei Annäherung der andern gleichartig elecktrisirten von oben her. Wird hingegen in den Wirkungskreis eines elektrisirten Körpers ein anderer eingesenkt, der auf eine jenem entgegengesetzte Art elektrisirt ist, so wird ein Theil jener entgegengesetzten Elektricität gebunden, ihre Intensität geschwächt, und der Körper fähig gemacht, noch mehr von dieser Elektricität aufzunehmen, oder seine Capacität für Elektricität wird erhöht, weil die Grenze, bei welcher die Spannung einen Grad erreicht, um den Widerstand der Luft zu überwinden, nunmehr weiter hinausgerückt ist. Der entgegengesetzte Erfolg an den Korkkügelchen, oder den Strohhälmchen, das Zusammengehen derselben, wird den augenscheinlichen Beweis davon liefern. Wenn man einen elektrisirten Körper einem mit der Erde verbundenen Leiter, z. B. dem Tisch nähert, so wird durch Vertheilung des natürlichen Antheils der Elektricität dieses Leiters oder seines 0 E. in Folge dieser Annäherung in der dem elektrisirten Körper zunächst ge-

legenen Fläche die entgegengesetzte Elektricität auftreten, welche auf die Elektricität des genäherten Körpers selbst anziehend und dadurch sie in ihrer freien Wirksamkeit nach aufsen schwächend zurückwirkt, wodurch also gleichfalls die Intensität der vorhandenen Elektricität geschwächt, die Capacität des elektrisirten Körpers für neue Elektricität dagegen erhöht wird. Wenn man z. B. die Trommel eines Elektrophors so stark elektrisirt, dafs der Zeiger eines damit verbundenen Quadranten-Elektrometers z. B. bis auf 60 Grade steigt, und man alsdann die an seidenen Schnüren gehaltene Trommel nach und nach gegen den Tisch senkt, so wird der Zeiger des Elektrometers allmälig auf 50°, 40°, 30°, u. s. w. fallen. Hebt man aber die Trommel wieder auf, so steigt das Elektrometer wieder auf den vorigen Grad, den Verlust von Elektricität abgerechnet, den indessen die Feuchtigkeit der Luft, oder andere zufällige Ursachen (z. B. unmerkliche Ecken, Schärfen) veranlafst haben können. Man setze die Trommel des Elektrophors sey positiv elektrisirt oder habe + E, so wird dieses + E bei der Annäherung an den Tisch einen Theil der in diesem Tische befindlichen — E anziehen und binden. Dadurch wird eben soviel von dem + E des Tisches frei, und da es durch den übrigen Theil des Tisches einen freien Abflufs in die Erde hat, so kann es durch seine etwaige Anhäufung jener Wirkung des + E der Trommel sich nicht entgegensetzen, welches Zurücktreiben durch das Uebergewicht des + E der Trommel zu Stande kommt. Das auf dieses Anziehen und Binden des — E des Tisches verwendete + E der Trommel kann eben darum, weil es verwendet, von jenem — E gegenseitig gebunden ist, nicht mehr auf das Elektrometer wirken, dessen Zeiger also natürlich fallen mufs. Es ist aber darum nicht verloren gegangen, und zeigt sich wieder in seiner freien Wirksamkeit, wenn die Trommel wieder vom Tische entfernt wird, weil jene wechselseitige Anziehung mit der Entfernung abnimmt. Die von dieser Wechselwirkung abhängige Zunahme der Capacität und Tenacität der Trommel in Beziehung auf die von ihr aufzunehmende und aufgenommene Elektricität wird also im Augenblicke der wirklichen Berührung am stärksten seyn, wofern nur verhütet werden kann, dafs eine wirkliche Mittheilung oder ein Uebergang der Elektricität vorgehe. Um diesen Uebergang,

für welchen die Bedingungen um so günstiger sind, je mehr die Annäherung zunimmt, zu verhüten, muſs man sowohl den elektrisirten Körper, als auch den Leiter, dem er genähert wird, so glatt als möglich, mit Vermeidung aller hervorragenden Theile, scharfer Ecken u. s. w. machen, und entweder durch die Wahl eines Halbleiters als Unterlage, oder durch eine dünne Schicht eines Isolators einen der Intensität der Elektricität angemessenen Widerstand entgegensetzen. Ein sogenannter Halbleiter, wie z. B. eine recht trockene Marmorplatte, besitzt, bei recht glatter und ebener Oberfläche, welche mit dem elektrisirten Leiter in Berührung kommt, diese Eigenschaft, dem Uebergange einer an sich schwachen Elektricität, wie diejenige stets ist, die man durch Hülfe des Condensators merklich machen will, einen hinlänglichen Widerstand entgegenzusetzen, ohne darum die vertheilende Wirkung derselben zu verhindern, auf welcher die Erhöhung der Capacität und Tenacität des elektrisirten Körpers für Elektricität beruht. Noch sicherer wird dieser Zweck durch eine Schicht eines vollkommenen Nahtleiters erreicht, die nur hinlänglich dünn seyn muſs, um die Elektricitäten einander nahe genug zu bringen, und wenn eine Schicht Firniſs dazu genommen wird, viel dünner seyn kann, als eine Luftschicht, die bei gleicher Dünne einen viel geringeren Widerstand dem wirklichen Uebergange entgegensetzt. Die Wirkungen eines so eingerichteten Condensators sind, zumal bei schwachen Graden der Elektricität unglaublich groſs. In Absicht auf die Tenacität bemerkt Volta, daſs die Elektricität des Deckels, die sich in der Luft binnen wenig Minuten zerstreuen würde, sich auf der Platte des Condensators mehrere Stunden lang erhalte, ja sogar durch die Berührung mit Leitern nicht weggenommen werde. Er konnte an die Collector-Platte des Condensators den Finger oder ein Metallstäbchen 30 Secunden lang anhalten, oder mit einem Schlüssel 50 bis 60 mal daran schlagen, ohne ihr alle Elektricität zu entziehen. Der Deckel gab vielmehr nach dem Aufziehen noch einen beträchtlichen Funken. Da man gewöhnlich das Isoliren als das einzige Mittel zur Erhaltung der mitgetheilten Elektricität ansieht, so scheint es paradox, daſs man hier durch ein höchst unvollkommenes Isoliren mehr als durch das vollkommenste selbst ausrichtet, daſs man sogar desto mehr ausrichtet, je un-

vollkommener die Isolirung, d. h. je genauer die Berührung mit der Unterlage, und je vollkommener die leitende Verbindung derselben mit der Erde ist. Das Räthsel löst sich aber durch die gegebene Erklärung sehr leicht auf, und es kommt nur darauf an, Vertheilung der Elektricität durch Atmosphärenwirkung von Mittheilung und Uebergang derselben zu unterscheiden, welches überhaupt der Schlüssel zu den vornehmsten Geheimnissen der Elektricitätslehre ist. Da die Elektricität sich um so leichter auch bei vollkommener Isolirung durch die, auch in der reinsten Luft schwebenden Staubtheilchen und durch die auch bei der vollkommensten Polirung nicht ganz zu beseitigenden feinen Hervorragungen zerstreut, je gröfser ihre Spannung ist, so mufs der davon abhängige Elektricitätsverlust nothwendig beim Aufliegen der elektrisirten Metall-Platte auf einer Unterlage geringer werden, weil die Spannung der Elektricität so sehr geschwächt wird, und diese grofse Tenacität hat dem Condensator auch den Namen eines *Conservators der Elektricität* verschafft.

Was die Capacität betrifft, so kann der aufgesetzte Deckel, wenn er durch den Conductor einer Maschine, oder durch eine geladene Flasche u. s. w. elektrisirt wird, weit mehr Elektricität als sonst annehmen. Er zeigt zwar, so lange er auf der untern Platte steht, wenig oder gar nichts von dieser Elektricität, hebt man ihn aber auf, so wird sie sogleich mit ihrer ganzen Stärke sichtbar. Man kann daher sehr geringe Grade der Elektricität merklich machen, weil der Deckel vermögend wird, sich durch eine, ihrer Spannung nach sehr schwache Elektricität, wenn nur ein hinlänglicher Vorrath davon vorhanden ist, zu einer viel höheren Spannung laden zu lassen. Wenn man eine Leidner Flasche entladen und durch eine zweite, auch wohl dritte Berührung allen Ueberschufs an Ladung herausgezogen hat, so ist nicht daran zu denken, dafs man aus ihr noch einen Funken erhalten sollte; wenn sie aber nur noch einen leichten Faden anzieht (welches eine gut geladene Flasche nach der Entladung und zweimaligen Berührung noch ganze Stunden und Tage lang thut), so giebt sie dem Deckel des Condensators noch genug Elektricität, um nach Aufhebung desselben noch einen merklichen Funken zu erhalten. Berührt man ihn zum zweitenmale mit dem Knopfe der Flasche, so

giebt er aufgezogen einen zweiten Funken, und wird endlich die Elektricität der Flasche so sehr erschöpft, dafs sie nicht einmal mehr leichte Fäden anzieht und die feinsten Goldblättchen kaum zu einiger Divergenz bringt, so kann man sie doch noch durch den Condensator bemerken, dessen Deckel nach der Berührung mit dem Knopfe der Flasche von seiner Unterlage entfernt zwar keine Funken geben, aber doch Fäden anziehen, nicht blofs die Goldblättchen, sondern selbst die Strohhalme aus einander treiben wird. Dieser Versuch dient zugleich zur Prüfung der Kraft eines Condensators und zur Messung derselben. Bei starken Graden der Elektricität vergröfsern sich die Wirkungen des Condensators nicht verhältnifsmäfsig. Denn sobald die dem Deckel mitgetheilte Elektricität so stark wird, dafs sie den schwachen Widerstand der untern Platte, wenn diese aus einem Halbleiter besteht, oder der Firnifs- oder der Luftschicht überwinden kann, so theilt sie sich derselben mit, und zerstreut sich dadurch in die Erde.

4. Mathematische Bestimmung der condensirenden Kraft der Collector-Platte. Empirische Ausmittelung derselben.

Nach dem im Allgemeinen angegebenen Principe der Wirkungsart des Condensators läfst sich nun auch die condensirende Kraft, oder das Verhältnifs, in welchem die Spannung einer der Collectorplatte mitgetheilten Elektricität aus einem unerschöpflichen Quell in dieser Platte angehäuft und verdichtet wird, durch folgende Betrachtung zur genauen Berechnung und zu einem Ausdruck durch eine Formel bringen. Die Elektricität A, welche der Collector-Platte mitgetheilt wird, neutralisirt oder bindet auf eine geringe Entfernung eine Portion —B von entgegengesetzter Elektricität in der untere Platte, die mit dem Erdboden in Verbindung ist (bei der Vorrichtung, wo die Collector-Platte auf dem Elektrometer aufgeschraubt ist, bezieht sich das — B auf die oben auf ruhende Platte, die mit dem Finger berührt wird) und hindert dieselbe zu entweichen. Diese ihrerseits bindet wieder eine Portion A′ von der Elektricität der Collector-Platte, und hebt ihre repulsive Kraft auf. Die Collector-Platte befindet sich also genau in dem Falle, als wenn sie blofs A — A′ freie Elektricität hätte, und folglich mufs

sie fortfahren sich zu laden, bis diese Quantität derjenigen gleicht, welche sie den Leitern entzogen haben würde, mit denen sie in Verbindung steht, wenn sie allein, ohne den Einfluſs der untern Platte mit ihnen communicirt hätte. Es sey demnach E ihre Ladung unter diesen Umständen, so wird man an der Grenze haben $E = A - A'$. Das Verhältniſs von A zu $-B$ und von $-B$ zu A' hängt von der mehr oder weniger groſsen Entfernung ab, welche zwischen den Platten statt findet. Unter allen Umständen muſs aber $-B$ schwächer seyn als A, und zwar so, daſs wenn $A+$, und $B-$ ist, die beiden Quantitäten mit einander in unmittelbare Berührung gebracht einen Ueberschuſs von $+$ geben. Denn die Anziehung der Theilchen von $+A$ auf die Theilchen von $-B$ muſs nothwendig in der Entfernung geringer seyn, als sie in der Berührung seyn würde. Da sie aber durch die nicht leitende Firniſsschicht hindurch $-B$ vollkommen neutralisiren, so müssen sie durch ihre gröſsere Zahl die Schwächung ihrer Wirkung, die von der Entfernung abhängt, ausgleichen. Drückt man das Verhältniſs dieser beiden Gröſsen durch m aus, so daſs man $B = -mA$ oder $B + mA = 0$ hat, so wird m nothwendig ein ächter Bruch und kleiner als die Einheit seyn. Auf gleiche Weise nun wie A das $-B$ durch die Dicke der isolirenden Schicht hindurch bindet, ist in A eine Portion A' welche durch $-B$ neutralisirt wird, und da die Art zu wirken hier ganz genau dieselbe ist, so wird das Verhältniſs der Sättigung auch ganz dasselbe seyn, so daſs also auch $A' = -mB$ oder $A' + mB = 0$ ist. Schafft man B aus dieser Gleichung vermittelst seines obigen Werthes mA hinweg, so folgt daraus $A' = m^2 A$, und folglich wird die Gleichung, welche oben für die Grenze der Ladung des Condensators gefunden wurde

$E = (1 - m^2) A$; und so giebt $\frac{A}{E} = \frac{1}{1 - m^2}$ das Verhältniſs der Ladungen, welche die Collector-Platte durch ihre Berührung mit den nämlichen elektrisirten Leitern mit oder ohne den Einfluſs der untern (mit dem Erdboden in Verbindung stehenden) Platte erhält. Dieses Verhältniſs ist also das Maſs der condensirenden Kraft, die sich folglich durch $\frac{1}{1-m^2}$

ausgedrückt findet. Ist z. B. m = 0,99 d. h. binden 100 Theile Elektricität in der einen Platte 99 in der andern durch die isolirende Schicht hindurch, so wird man, wenn man für m diesen Werth setzt $\frac{1}{1-m^2} = 50$ haben, so daſs also unter dem Einflusse der untern Platte die Collector-Platte mit irgend einem unerschöpflichen Quell von Elektricität in Verbindung gesetzt 50mal mehr Elektricität aufnehmen wird, als wenn sie sich ohne diesen Einfluſs damit in Verbindung befunden hätte. Zur Bestimmung der condensirenden Kraft eines solchen Instruments reducirt sich demnach alles darauf, den Bruch m auszumitteln. Zu diesem Behuf ladet man den Condensator mit irgend einer gegebenen Menge Elektricität, wobei aber beide Platten mit isolirenden Handgriffen versehen seyn müssen, und nur während der Ladung die eine Platte mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt, diese aber dann wieder aufgehoben wird, und bringt dann nach der Reihe jede der beiden Platten mit demselben Puncte ihrer Oberfläche mit einem, die Stärke der Elektricität messenden Apparate z. B. der Prüfungsscheibe der elektrischen Waage Coulombs [1] in Berührung. Dadurch erfährt man, welches an diesem Puncte das Verhältniſs der Spannung der elektrischen Schichten ist, und da die Platten von gleicher Gröſse sind, so wird dieses Verhältniſs auch zugleich das Verhältniſs der totalen Quantität ihrer Elektricitäten seyn. Nach dem obigen Verhältnisse ist nun, wenn die der Collector-Platte = A ist, die der untern Platte = — m A. Dividirt man die zweite durch die erste, so hat man m, worauf man $\frac{1}{1-m^2}$, d. h. die condensirende Kraft berechnen kann.

Man kann aber auch einfacher und ohne elektrische Waage, welche ein nicht leicht in gehöriger Vollkommenheit zu erhaltendes Instrument ist, hinreichend genug die condensirende Kraft durch *correspondirende Elektrometer* bestimmen, von denen die Grade des einen Vielfache der Grade des andern sind. Man kann sich eine solche Reihe von Elektrometern, von dem empfindlichsten Goldblattelektrometer ausgehend, leicht durch

---

1 S. *Drehwaage.*

mit einer Kugel, an welche die Platte angeschraubt, versehen ist, in parallerer Lage mit bb erhalten. Mittelst des Charniers läſst sich diese Platte aa zurücklegen in die Lage, wie die punctirten Linien ga, bezeichnen. Ein hervorragendes Stück am Charnier hält die Platte auf, wenn sie in die gehörige Lage parallel mit bb gekommen ist, und erhält sie in ihr. Auf der Kugel e befindet sich eine Mutterschraube, in welche sich drei Stücke für drei Hauptversuche, die man mit dem Condensator anstellen will, einschrauben lassen, ein kleiner messingener Becher, ein mit Stanniol überzogenes Stäbchen für die Luftelektricität, und ein Messingdraht, der mit einem Gelenk versehen, und bestimmt ist, die Condensatorplatte mit der Platte einer Volta'schen Säule in leitende Verbindung zu setzen. Zur gröſseren Bequemlichkeit bedient man sich eines gewöhnlichen Goldblattelektrometers, woran der kleine Condensator angebracht ist, dessen Scheiben 1″,5 im Durchmesser haben, deren eine an die messingne Deckplatte des Elektrometers angeschraubt ist, die andere an einen Messingstab, welcher unten auf gleiche Weise, wie am gröſsern Condensator, mit einem Charniere versehen ist, um die Scheibe niederlegen zu können, und auf dem Fuſse des Elektrometers festsitzt. Beide Instrumente lassen sich einzeln und in Verbindung mit andern gebrauchen. Erfordert der Versuch (wenn nämlich der einzelne Condensator keinen merklichen Ausschlag giebt) beide Condensatoren, so werden sie mit einander verbunden. Die feste Platte bb des gröſsern Condensators muſs zu dem Ende an der Seite mit einem Messingstifte α versehen seyn, der in ein Loch am Rande der Collector-Platte bb des kleinen Condensators gut paſst. Will man z. B. die Elektricität, die durch einen, mit Luftentwickelung verbundenen chemischen Proceſs erregt wird, untersuchen, so schraubt man das Schälchen auf die Kugel des groſsen Condensators, und setzt in dasselbe eine Glas- oder Porcellanschale mit den Materien, welche jene Luftentwickelung geben sollen, z. B. Kreide und verdünnte Schwefelsäure, und verbindet darauf beide Condensatoren. Hat das Aufbrausen begonnen, so schlägt man die bewegliche Platte aa des groſsen Condensators in die punctirte Lage zurück, und wenn viel Elektricität erzeugt ist, so divergiren jetzt schon die Goldblättchen; wo nicht, so schlägt man nun auch die eine Platte des kleinen Condensators

Fig. 89. Fig. 90. Fig. 91. Fig. 88.

zurück, wo unfehlbar in obigem Falle Spuren von Elektricität sich zeigen werden. Man kann übrigens einen solchen doppelten Condensator aus Scheiben, die mit einer dünnen Firnifsschicht überzogen sind, und in horizontaler Lage auf einander gesetzt werden, anwenden, und er hat vor dem Cuthbersonschen den Vorzug, dafs die freigewordene Elektricität der kleinen, auf das Elektrometer geschraubten Platte, gleichförmiger auf die Divergenz der Goldblättchen wirkt, während bei jener senkrechten Lage die Seitenwirkung der untern Hälfte der Scheibe, die dem Goldblättchen seitwärts gegenüber steht, wenigstens in etwas in einem entgegengesetzten Sinne thätig ist. Ein solcher Condensator mit einer Luftschicht ist aufserdem ein Werkzeug, das schon einen sehr geübten Künstler zu seiner Verfertigung erfordert.

Die Zunahme der Condensation durch einen solchen doppelten Condensator ergiebt sich übrigens leicht durch folgende Betrachtung. Das Verhältnifs der Flächen der beiden Condensatoren des kleinern und gröfsern sey $1 : m$. Es sey α die Spannung der Elektricität, welche erhöht werden soll, und die condensirende Kraft beider Condensatoren eines jeden für sich sey $n\,\alpha$. Trägt man $n\,\alpha$ auf die Collector-Platte des kleinern Condensators über, so hat man vor abgehobenem Deckel $\frac{n}{n+1}\,m\,\alpha$ und nach abgehobenem Deckel $\frac{n}{n+1}\,m\,n\,\alpha$.

6. Gebrauch des Condensators und mit demselben im allgemeinen angestellte Versuche.

Der Condensator ist vorzüglich in denjenigen Fällen zur Ausmittelung der Elektricität höchst brauchbar, wo zwar eine grofse Quantität von Elektricität vorhanden, aber die Spannung oder Intensität derselben zu schwach ist, um auch das empfindlichste Elektrometer afficiren zu können. Dies gilt ganz besonders dann, wenn der Elektricitätsquell, aus welchem eine Elektricität von so schwacher Spannung ausgeht, ein unerschöpflicher ist, und wenn der Condensator nur vollkommen

eingerichtet ist, so kann man dieselbe wohl 300 mal verstärkt darstellen.

1. So dient der Condensator sehr vortheilhaft zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität, wenn man von dem dazu aufgestellten Conductor einen Draht bis zur Collector-Platte des Condensators führt, uud einige Minuten mit demselben in Verbindung läfst. Volta hat fast täglich und stündlich auch an den heitersten Tagen Elektricität in der Atmosphäre gefunden, die für sich allein unfähig war, auch auf die empfindlichsten Elektrometer zu wirken. Ich bediene mich hierzu eines hölzernen Stabes, der aus zwei Stücken mit einem Charniere besteht, um ihn zusammenlegen zu können, und sich mit seinem untern durchbohrten Ende, von welchem er in schiefer Richtung ausgeht, frei um einen Zapfen einer wohl überfirnifsten Kugel, die sich auf einem gut isolirenden Stative einer grofsen Glasstange befindet, drehen und in alle Richtungen bringen läfst. An dem hölzernen Stabe geht von seinem obern Ende bis nach unten ein Metalldraht, dessen zuleitende Wirkung dadurch noch vermehrt wird, dafs man an sein Ende einen brennenden Schwefelfaden bringt. Ohngeachtet die Länge des Stabs nur 8 Fufs ist, so erhalte ich, auch wenn ich ihn zum Fenster des mittlern Stockwerkes meines Hauses hinausgehen lasse, die auffallendsten Spuren von Elektricität mit Hülfe des Condensators in wenigen Secunden. Die zur Zeit eines Nordlichts sehr merkliche Luftelektricität erkannte Volta gleichfalls dadurch.

2. Vorzüglich hat man durch Hülfe des Condensators die wichtige Thatsache ausgemittelt, dafs durch die blofse Ausdünstung des Wassers Elektricität erzeugt wird, wobei die Gefäfse, aus welchen das Wasser verdunstet, mit freier negativer Elektricität geladen zurückbleiben, ein Zeichen, dafs der dabei aufsteigende Dunst positiv elektrisirt ist, woraus sich die Elektricität der Wolken [1] erklärt. Besonders auffallende Resultate erhält man, wenn das Wasser auf glühende Kohlen in einem isolirten Kohlenbecken gegossen wird, das mit der Collector-Platte in Verbindung steht, die oft so stark dadurch elektrisirt

---

1 Vergl. *Blitz*.

wird, daſs man nach Aufhebung derselben Funken daraus ziehen kann, wie schon Volta im Jahre 1782 in Gemeinschaft mit mehreren englischen Physikern beobachtet hatte [1]. Hierher gehören wohl auch die Versuche über die beim Aufbrausen, z. B. bei der Entwickelung von Luftarten, besonders des Wasserstoffgases in Folge der Auflösung von Eisenfeile in verdünnter Schwefelsäure [2], des Salpetergases bei Auflösung der Kupferfeile in Salpetersäure freiwerdende Elektricität, die gleichfalls negativ ist, und wohl mehr der gleichzeitigen Ausdünstung als dem chemischen Processe an sich selbst zuzuschreiben ist, da spätere Versuche, namentlich von Davy bewiesen haben, daſs selbst durch den lebhaftesten Verbrennungsproceſs des Phosphors oder Eisens im Sauerstoffgase durch Verbindung der Schwefelsäure mit Kali und andere ähnliche Processe keine freie Elektricität zum Vorschein kommt [3].

3. Auch zur Ausmittelung der eigenthümlichen Elektricität des menschlichen Körpers, ist der Condensator ungemein brauchbar, wenn man sich auf ein Isolatorium stellt, und eine kurze Zeit mit der auf das Elektrometer aufgeschraubten Collector-Platte in Verbindung setzt, während die obere Platte mit dem Erdboden communicirt. Saussure, der diese Elektricität vorzüglich an dem durch Bewegung erhitzten menschlichen Körper wahrnahm, schrieb sie dem Reiben des Körpers an der Kleidung zu. Eine groſse Menge von Versuchen hat mir indessen das Resultat gegeben, daſs diese Elektricität ganz unabhängig von der angeführten Ursache ist, indem auch der entkleidete Körper nach vorhergegangener Ruhe deutliche Spuren von Elektricität durch Hülfe des Condensators offenbart, und zwar positive, zum Beweise, daſs sie nicht von der Ausdünstung abhängt, weil sie sonst negativ ausfallen müſste, daſs aber mancherlei Umstände, welche die Verrichtungen des Körpers afficiren, krankhafte Affectionen u. dgl. einen groſsen Einfluſs auf die Elektricität des Körpers äuſsern, und dieselbe nicht bloſs ihrem Grade, sondern auch ihrer Qualität nach

---

1 J. d. P. XXII. 97. 98.
2 Volta a. a. O. p. 96. 97.
3 Gehlens Journ. V. 52.

verändern, indem in manchen Fällen sich negative statt positiver Elektricität zeigt [1].

4. Doch die glänzendste Anwendung des Condensators fand in der Sphäre des Galvanismus statt, da nur durch seine Hülfe jene schwachen Spuren von Elektricität, welche die Körper in ihrer wechselseitigen Berührung zeigen, entdeckt werden konnten. Ihm verdankt man vorzüglich die genaue Anordnung der Körper zur elektrischen Spannungsreihe, die Ausmittelung des Gesetzes, nach welchem die Elektricität in der Volta'schen Säule wächst [2].

Ein je empfindlicheres Werkzeug der Condensator ist, um so mehr Vorsicht ist bei seinem Gebrauche nöthig, um jede Einmischung einer fremdartigen Elektricität, die von ihm selbst abhängen könnte, zu verhüten. Dies gilt namentlich in Betreff der Ausmittelung der unter 3 und 4 aufgeführten Elektricitäten, indem nämlich die etwas stärkere Berührung der Collector-Platte, besonders Stoſs, Druck und noch mehr Reiben, vorzüglich mit einem ideoelektrischen Körper in den Metallen selbst Elektricität erregt, die dann beim Aufheben der mit dem Erdboden communicirenden Platte zum Vorschein kommt. Durch das bloſse Schlagen mit dem Flügel seines Hutes, konnte Volta der Collector-Platte seines Condensators eine so starke Elektricität geben, daſs sie beim Aufheben von dem Halbleiter, auf welchem sie ruhte, einen bis zu einem Zoll langen (?) Funken gab.

Diese Eigenschaft des Condensators, die Elektricität in sich latent zu machen, und nachher mit ihrer im Verhältnisse seiner Condensationskraft mehr oder weniger verstärkten Intensität zu offenbaren, verschafft auch das Mittel, aus einer schwach geladenen Flasche noch mehrere Funken zu erhalten, und sie bei Entladung der elektrischen Pistole bei den eudiometrischen Versuchen mit Volta's Eudiometer zum Verpuffen des Gasgemenges zu benutzen [3]. *P.*

---

1 Vergl. Meckels deutsches Archiv für Physiologie III. 261.

2 S. *Galvanismus.*

3 Auſser der angegebenen Literatur S. Volta's Condensator der Elektricität in Leipziger Samml. zur Physik und Natur-Geschichte. III. 2tes St. Nr. 1.

Conductor. S. Elektrisirmaschine.
Consonanz. S. Ton.

Convexgläser.

Erhabne Linsengläser; *Vitra convexa, lentes convexae;* Verres convexes; *Convex lenses*, sind die Gläser, welche sphärisch geschliffen, die erhabene Seite nach aussen kehren. Sie heissen *convex-convex*, wenn beide Seiten erhaben geschliffen sind; *plan-convex*, wenn eine Seite eben, die andre erhaben ist, *concav-convex*, wenn eine Seite erhaben, die andere hohl ist, zu der letztern Art gehört auch der *Meniskus*, ein Glas, dessen Durchschnitt die Gestalt der sichelförmigen Mondscheibe hat. Die beiden ersten Arten von Gläsern sammeln die auffallenden parallelen Strahlen in einen Brennpunct, auch bei dem Meniskus findet dies statt und bei alle denjenigen concav-convexen Gläsern, deren convexe Oberfläche einem kleinern Durchmesser als die concave zugehört [1]. *B.*

Crownglas.

Kronglas; Crown-glass; *Crownglass*. Eine schöne Art von Tafelglas, die dadurch berühmt geworden ist, dass man, seit Dollond die Verfertigung achromatischer Objectivgläser aus Crownglas und Flintglas zu Stande brachte, sich immer dieser Glasart zu demselben Zwecke bedient hat.

Das Crownglas zerstreut die verschiedenfarbigen Strahlen nicht so sehr, als das Flintglas und das durch ein Prisma aus dem ersteren hervorgebrachte prismatische Farbenbild ist viel kürzer als dasjenige, was durch ein gleiches Prisma aus Flintglas gebildet wird. Zwei Prisma aus diesen beiden Glasarten können daher von einer solchen Gestalt genommen werden, dass sie verbunden ein farbenloses Bild geben, ohne dass die

---

Zusatz zu der Beschreibung eines neuen Elektrometers von A. Bennet aus den Philos. Transact. LXXVII. ebend. IV. 4tes St. S. 427.

Le Condensateur in Biots Traité de Physique experimentale et mathematique. Tome II. p. 363.

1 Vergl. *Linsengläser*.

Brechung ganz aufgehoben wird. Hierauf beruht die Darstellung von Fernröhren, die den Gegenstand ohne Farbe zeigen [1]. Das Brechungsverhältnifs für Crownglas giebt Brewster [2] 0,652 bis 0,648 an; die Zerstreuung nur 0,020 der ganzen Brechung, statt dafs sie beim Flintglas 0,029 bis 0,032 ist. *B.*

Culmination.

Culminatio, *mediatio*, *transitus per meridianum*; passage par le méridien; *the transit.* Die Gestirne culminiren, wenn sie ihre gröfste Höhe (*culmen s. fastigium arcus diurni*) erreichen, und da dies bei den Fixsternen in völliger Strenge, bei beweglichen Gestirnen wenigstens sehr nahe dann geschieht, wenn sie im Mittagskreise sind, so sieht man Culmination und Durchgang durch den Meridian als gleichbedeutend an.

Wenn die gerade Aufsteigung und die Abweichung eines Sternes gegeben ist, so kann man sowohl die *Zeit seiner Culmination*, als auch die *Höhe im Meridian* berechnen. Verwandelt man nämlich seine Rectascension, vom wahren Aequinoctio an gerechnet, in Zeit, so hat man in Sternzeit die Zeit des Durchganges. Verlangt man diese Zeit der Culmination so angegeben, dafs sie vom wahren Mittage an gerechnet werde, so mufs man den Unterschied der Rectascension der Sonne und des Sternes suchen, und diesen, indem man 15 Grade auf die Stunde rechnet, in Sternzeit verwandeln, oder wenn man mittlere Sonnenzeit haben will, die gefundene Sternzeit noch mit der Zahl multipliciren, welche Sternzeit auf mittlere Sonnenzeit zurückführt (oder 1 St. Sternzeit = 0° 59′ 50″, 2 mittl. Zeit setzen); will man wahre Zeit haben, so mufs man die gefundene Sternzeit um eine Gröfse, die der Länge des wahren Tages, auf den die Bestimmung fällt, und der seit Mittag verflossenen Sternzeit proportional ist, corrigiren [3].

---

1 S. *Prisma, achromatisches; Fernrohr, achromatisches.*

2 Brewster on new philosophical Instruments. p. 286. u. 319.

3 z. B. ein Stern culminirt 11 Stunden Sternzeit nach Mittage, dieser wahre Sonnentag aber, an dem die Beobachtung geschah, ist 24

Um die *Zeit der Culmination* zu beobachten, dienen offenbar alle die Mittel, wodurch man die Zeit des Durchganges durch den Meridian bestimmt. Das gut aufgestellte Mittagsfernrohr oder der zugleich zu Höhenmessungen dienende Mittagskreis ist am besten dazu. Er muſs so befestigt seyn, daſs das Gestirn genau im Meridian ist, wenn es durch den Mittelfaden des Fernrohrs geht. Bei der Sonne oder allen Himmelskörpern, die einen scheinbaren Durchmesser haben, beobachtet man den Antritt beider Ränder an dem Faden, und das Mittel dazwischen ist die Culminationszeit des Mittelpunctes.

Ein sehr einfaches, aber nicht sehr genaues Mittel, um die Culmination zu beobachten, giebt das *Fadendreieck*. Man zieht von einem Puncte einer richtig gezogenen Mittagslinie einen verticalen Faden, und indem man diesen etwa über eine Rolle laufen läſst, von dessen Endpuncte einen andern Faden nach einem zweiten Puncte der Mittagslinie. Bringt man nun das Auge in die Ebene dieses Dreiecks oder stellt es so, daſs ein Faden den andern verdeckt, so sind die Sterne, die nun von beiden Fäden zugleich bedeckt werden, im Meridian. Will man die Sonne beobachten, so reicht es hin, zu beobachten, wenn der Schatten des Fadens auf die Mittagslinie fällt. Auf diese Weise zeigt auch der Zeiger der Sonnen-Uhr die Culmination der Sonne an. Eine genauere Bestimmung giebt der *Gnomon*, wo nämlich eine sehr kleine, in der Höhe liegende Oeffnung, die sich in der durch eine gezogne Mittagslinie gehende Vertical-Ebene befindet, das Licht der Sonne in ein finsteres Zimmer fallen läſst; das kleine Sonnenbild, welches sich vermöge des durch diese kleine Oeffnung eindringenden Lichtes auf der Ebene, wo die Mittagslinie gezogen ist, zeigt, rückt mit dem Fortgange der Sonne allmälig fort, und der Antritt seiner beiden Ränder an die Mittagslinie giebt eben so die Culminationszeit, wie der Antritt der Sonnenränder an den Faden des Mittagsfernrohrs.

Bei Gestirnen, die ihre Declination sehr schnell ändern, könnte es sich ereignen, daſs sie nicht genau im Meridian ihre gröſste Höhe erreichten, aber der Fall, daſs man aus diesem

---

Sternstunden 4 Min. so muſs man 11 Sternstunden = 10 St. 58′ 10″ wahre Sonnenzeit rechnen.

Grunde die Culmination als erheblich verschieden vom Durchgange durch den Meridian unterscheiden müfste, kommt kaum jemals vor. Die Berechnung der Zeit des Durchgangs durch den Meridian ist für den Mond oder ein anderes, mit eigener Bewegung fortrückendes Gestirn, darum etwas schwieriger, als oben angegeben ist, weil die Rectascension des Gestirns zur Zeit der Culmination erst dann genau bekannt ist, wenn man diese Zeit schon genau kennt. Es läfst sich leicht übersehen, wie man diese Zeit anfangs annähernd, und dann genauer findet. *B.*

Cyklus.

Cirkel, Zeitkreis; *Cyclus;* Cycle; *Cycle;* ist in der Chronologie eine Reihe von Jahren, nach deren Beendigung dieselben Erscheinungen in derselben Ordnung wieder eintreten. Eine *Periode* ist zwar gleichfalls eine Reihe von Jahren, nach deren Beendigung gleiche Erscheinungen wieder eintreten; aber nach dem in der Chronologie eingeführten Sprachgebrauch nennt man *Periode einen gröfsern Zeitraum, der mehrere Cyclen umfafst.*

In unserm Kalender werden der *Mondscirkel*, der *Sonnencirkel*, und der *Indictionencirkel* angeführt.

Der Mondscirkel.

Der Mondscirkel, *Cyclus lunae*, ist eine Reihe von 19 Jahren, und jedes einzelne Jahr heifst daher das erste, das zweite u. s. w. des Mondscirkels; nach dem 19ten Jahre des Mondscirkels folgt wieder das erste eines neuen Cyclus. Die Zahl, welche angiebt, das wievielte des Mondscirkels ein gegebenes Jahr ist, heifst *die güldene Zahl.*

Wenn die güldene Zahl 1 ist, so fällt der Neumond auf den ersten Januar, wie es z. B. im Jahre 1824 der Fall war; wie der erste Neumond eines andern Jahres fällt, bestimmt man, mit Hülfe der *Epakte*, daraus, dafs 12 Mondswechsel 354 Tage betragen, also in jedem folgenden Jahre der übereinstimmende Mondswechsel 11 Tage früher eintritt. Um zu bestimmen, welches Jahr des Mondscirkels ein gegebenes ist, mufs man wissen, dafs das Jahr 1 unserer Zeitrechnung das zweite des Mondscirkels war, also jedes gegebene nte Jahr nach Chri-

sti Geburt diejenige güldne Zahl hat, die man bei der Division $\frac{n+1}{19}$ als Rest behält. Wendet man dies auf 1825 an, so ist 1826 = 96. 19 + 2, oder wenn man den Mondscyklus mitzählt, der ein Jahr vor unsrer Zeitrechnung anfängt, so sind seit Christi Geburt (so wie unsre Chronologen diesen Zeitpunct festsetzen), 96 ganze Mondscirkel vorüber gegangen, und wir befinden uns jetzt im 2ten Jahre des Mondscirkels.

Die Angabe, dafs die Mondsphasen nach 19 Jahren wiederkehren, würde genau richtig seyn, wenn 19 Jahre oder 6940 Tage genau mit 235 Mondswechseln übereinstimmten, was nicht ganz genau der Fall ist. Da aber nach unsrer Einschaltungsmethode unter vier Mondscirkeln immer einer ist, der nur 4 Schaltjahre enthält, so sollten wir die 19 Jahre zu 6939 Tagen 18 Stunden anrechnen, und da 235 Mondswechsel oder synodische Monate 6939 Tage 16 St. 32 M. umfassen, so weicht der Cyklus um 1 Stunde 28 Min. ab; — eine Abweichung, die nach der Einschaltungsmethode des verbesserten Kalenders noch anders bestimmt wird, aber hier nicht wesentlich in Betrachtung kommt.

Die Entdeckung, dafs nach 19 Sonnenjahren die Mondserscheinungen wieder mit den gleichen Stellungen der Sonne zusammentreffen, machte Meton, ein Athenienser, 432 Jahr vor Christo. Da die Griechen nach Mondenjahren rechneten, und bis dahin keine sichere Regel hatten, welchen Jahren sie 13 Monate und welchen sie 12 geben müfsten, so war es sehr erwünscht, hier eine solche feste Regel zu erhalten. Es ist interessant, die von Ideler [1] nach den uns zugekommenen Nachrichten sorgfältig erläuterten Fortschritte des, ganz an die Monds-Erscheinungen geknüpften, griechischen Kalenders zu lesen; — wie sie zuerst, um den Anfang eines neuen Monats zu bestimmen, der unmittelbaren Beobachtung, dafs der Neumond nun wieder sichtbar sey, bedurften; wie sie sodann bemerkten, dafs man mit Monaten, abwechselnd von 29 und von 30 Tagen, recht gut den Erscheinungen des Mondes getreu bleibe, ohne ihn gerade gesehen zu haben; wie sie sich durch

---

1 Handbuch der Chronologie von Ideler. 1825. 1 Th. S. 262.

Einschaltung eines ganzen Monats bemühten, ihr Mondenjahr mit dem Sonnenjahre in Uebereinstimmung zu setzen, und anfangs einen zweijährigen Cyklus anordneten, also ein Jahr ums andre einen Monat einschalteten, später den achtjährigen Cyklus einführten, (die Oktaëteris) nach welchem in 8 Jahren dreimal ein Monat eingeschaltet wurde, und endlich den *metonschen Cyklus* annahmen. Dieser Cyklus des Meton, der uns noch als Mondscirkel merkwürdig ist, erforderte dort, wo man Mondenmonate beibehielt, einen 19 jährigen Kalender, in welchem die Monate von 29 und von 30 Tagen durch den ganzen Cyklus aufgeführt werden mufsten, und wo die Schaltjahre von 13 Monaten gehörig bemerkt wurden. Ideler theilt diesen Kalender, so wie er nach den sorgfältigsten Vergleichungen gewesen seyn mufs, mit [1], und zeigt, wie darnach die in den griechischen Schriftstellern nach Monaten und Tagen angegebenen Zeitbestimmungen sich mit einer sehr grofsen Sicherheit auf unsern Kalender zurückführen lassen.

So wichtig aber auch diese Metonsche Verbesserung war, so bemerkte doch schon Kallippus (330 J. v. Chr.) dafs die 6940 Tage dieses Cyklus eigentlich nur 6939¾ seyn sollten, und er gab daher eine sechs und siebzigjährige Periode, die *Kallipische Periode* an, nach welcher in 76 Jahren ein Tag weniger als in 4 Cyklen des Meton vorkamen.

Der Sonnencirkel, *cyclus solis.*

Da unsere Woche 7 Tage hat, also ein Jahr = 52 Wochen 1 Tag ist, so würde derselbe Monatstag allemal im nächsten Jahre um einen Wochentag fortrücken, wenn es keine Schaltjahre gäbe. Durch dieses Eintreffen einiger Jahre von 366 Tagen kommt die Ordnung der Wochentage erst nach 28 Jahren bleibend und fortwährend auf dieselben Monatstage zurück; denn obgleich allerdings im Jahre 1820 eben so gut als 1825 der 1. Januar ein Sonnabend war, so hört doch sogleich diese Uebereinstimmung im nächsten Jahre auf, da 1821 der 1. Januar ein Montag war, 1826 der 1. Januar ein Sonntag ist, weil 1820 ein Schaltjahr war, 1825 aber keines. Nach 28 Jahren ist also ein Cyklus der Wochentage in Vergleichung gegen die

1 Ebendas. S. 383.

Jahrestage vollendet, und dieser Zeitraum macht einen ganzen Sonnencirkel aus; unsere Kalender geben an, das wievielte Jahr eines Sonnencirkels ein gegebenes Jahr ist.

Das erste Jahr unserer Zeitrechnung war das 10te des Sonnencirkels, und daher mufs man zu einer gegebenen Jahrszahl 9 addiren, um durch die Division den Rest zu finden, der angiebt, das wievielte im Sonnencirkel dieses Jahr sey. Z. B. da $\frac{1825+9}{28}$ uns 65 ganze Sonnencirkel und 14 als Rest giebt, so ist dieses Jahr das 14te des Sonnencirkels. Die Uebereinstimmung, dafs nach 28 Jahren die Wochentage auf denselben Monatstag fallen, findet aber nur im *Julianischen Kalender* fortwährend statt, und da ist allemal in dem Jahre, welches den Sonnencirkel schliefst, der Neujahrstag ein Sonntag. Im *Gregorianischen Kalender* tritt in denjenigen Secularjahren, welche keinen Schalttag haben, eine Veränderung ein, und daher ist z. B. 1825 der Sonnencirkel 14 und der 2te Januar ein Sonntag, statt dafs 1797, wo auch der Sonnencirkel 14 war, der 1. Januar auf einen Sonntag fiel; — der im Jahre 1800 ausgefallene Schalttag bringt diesen Unterschied hervor.

Der Indictionencirkel.

Der Cyklus der *Indictionen*, oder wie unser Kalender sie nennt, der *Römer-Zins-Zahlen*, *circulus indictionum* besteht aus 15 Jahren. Der Name bezieht sich auf die kaiserliche Bestimmung (*Ansagung*, *indictio*,) wie grofs diejenige Steuer, die nun selbst den Namen Indiction erhielt, im laufenden Jahre seyn solle; woher aber der Cyklus von 15 Jahren sich an diese Bestimmungen geknüpft habe, ist nicht bekannt, und man kann nur als die wahrscheinlichste Vermuthung annehmen [1], dafs die Abschätzung des Grundeigenthums, welche der Vertheilung jener Grundsteuer zur Richtschnur diente, alle 15 Jahre erneuert seyn mag. Seit CONSTANTIN's Zeit kommt dieser Cyklus als Zeitbestimmung vor, so dafs z. B. ein gewisses Jahr das 7te der 10ten Indiction heifst u. s. w., und später fügte man diese Angabe in den Urkunden den Jahrbestimmungen

1 Manso Leben Constant. d. Grofsen. S. 188.

bei. Wenn man diesen Indictionencirkel zurückführt, oder es so ansieht, als ob er schon so früh gebraucht wäre, so ist das erste Jahr unserer Zeitrechnung das 4[te] des Indictionencirkels, und man muſs daher zur Jahreszahl allemal 3 addiren, um durch Division mit 15 den Rest zu finden, der die diesem Jahre gehörige Zahl im Indictionencirkel angiebt.

$\frac{1825+3}{15}$ läſst 13 zum Rest, welches die Römer-Zins-Zahl des Jahres 1825 ist [1].

Die Julianische Periode.

An diese drei Cirkel schlieſst sich die *Julianische Periode* so genau an, daſs sie am besten sogleich hier erwähnt wird. Da 19, 28, 15 Primzahlen unter sich sind oder keinen gemeinschaftlichen Divisor haben, so kommt erst in einer Reihe von $19 \times 28 \times 15 = 7980$ Jahren der Fall wieder vor, daſs ein Jahr dieselbe Zahl in allen drei Cyklen wieder erhält. Die drei Zahlen, welche angeben, das wievielte in jedem Cyklus ein gegebenes Jahr sey, heiſsen daher die chronologischen Kennzeichen des Jahres, und unsre ganze Geschichte umfaſst noch keinen so groſsen Zeitraum, daſs darin zwei Jahre vorkämen, deren drei chronologische Merkmale gleich wären [2].

Die Julianische Periode (*periodus juliana*) umfaſst den Zeitraum von 7980 Jahren, nach dessen Ablauf diese Gleichheit fortwährend eintritt. Das erste Jahr der Julianischen Periode würde das seyn, welches im Mondcirkel, im Sonnencirkel, im Indictionscirkel die Zahl 1 hätte, und man findet daher für jedes Jahr aus den drei chronologischen Merkmalen, das wievielte der Julianischen Periode es ist, wenn man die der unbestimmten Analytik angehörige Aufgabe auflöſst: Eine Zahl zu finden, die mit 19, mit 28, mit 15 dividirt, gegebne Reste läſst. Ich will diese Aufgabe für das Jahr 1825 auflösen, welches im

---

1 Vergl. auch l'art de verifier les dates. (nouv. ed. Paris. 1818.) I. p. 36.

2 Man findet diese Zahlen auf Jahrhunderte voraus berechnet in: Meier Kornick System d. Zeitrechnung in chronol. Tabellen. Berlin. 1825. fol.

Mondcirkel 2, im Sonnencirkel 14, im Indictionencirkel 13 ist. Wenn dieses Jahr das t^{te} in der Julianischen Periode ist, so muſs zugleich

$$t = l \, . \, 19 + 2;$$
$$t = m \, . \, 28 + 14;$$
$$t = n \, . \, 15 + 13 \text{ seyn},$$

das heiſst, t ist eine Zahl, die l ganze Mondcyklen und noch 2 Jahre enthält, und so ferner, l, m, n, sind offenbar ganze Zahlen.

Es ist also zuerst

$$19\,l + 2 = 28\,m + 14$$
$$19\,l = 28\,m + 12$$
$$l = m + \frac{9\,m + 12}{19},$$

und $9m + 12$ muſs sich durch 19 ohne Rest dividiren lassen. Es sey $9m + 12 = 19\,p$, also

$$9\,m = 19\,p + 12$$
$$m = 2\,p - 1 + \frac{p - 3}{9}$$

so muſs sich $p - 3$ durch 9 dividiren lassen, und wenn $p - 3 = 9\,q$ gesetzt wird, so ist $p = 9\,q + 3$.

Hier wird nun, sobald man für q eine ganze Zahl setzt, auch

$$p = 9\,q + 3,$$

ferner $m = 2\,p - 1 + q = 19\,q + 5$, und $l = m + p = 28\,q + 8$, endl. $t = 19 . 28 . q + 154$, ganze Zahlen geben. Wäre also bloſs von dem Zustimmen der beiden ersten Cyklen die Rede, so würden die Zahlen

$q = 1, \quad p = 12, \quad m = 24,$
$l = 36, \quad t = 686,$

oder $q = 2, \quad p = 21, \quad m = 43,$
$l = 64, \quad t = 1218,$

oder $q = 3, \quad p = 30, \quad m = 62,$
$l = 92, \quad t = 1750,$

den Forderungen gemäſs seyn; denn die für t angegebnen Zahlen lassen bei der Division mit 19 und 28 die verlangten Reste.

Aber es soll zugleich auch $15\,n + 13 = 28\,m + 14$ seyn,
oder $15\,n = 28\,m + 1$

$$n = m + \frac{13\,m + 1}{15},$$

also $13\,m + 1$ mufs durch 15 theilbar seyn. Es sey

$$13\,m + 1 = 15\,r$$

$$m = r + \frac{2\,r - 1}{13},$$

ferner $2\,r - 1 = 13\,s$,

$$r = 6\,s + \frac{s + 1}{2},$$

$$1 + s = 2\,u.$$

Hier kann man für u jede ganze Zahl annehmen und es werden

$$\begin{aligned} s &= 2\,u - 1, \\ r &= 6\,s + u = 13\,u - 6, \\ m &= r + s = 15\,u - 7, \\ n &= m + r = 28\,u - 13, \\ t &= 15.\ 28.\ u - 182 \end{aligned}$$

ganze Zahlen. Die hier bestimmten Zahlen würden mit 28 und 15 dividirt die gehörigen Reste geben. Damit aber alle drei Reste richtig werden, mufs zugleich $m = 15\,u - 7 = 19\,q + 5$ seyn, folglich $15\,u = 19\,q + 12$,

$$u = q + \frac{4q + 12}{15},$$

Es sey $4q + 12 = 15\,v$,

$$q = 3\,v - 3 + \frac{3\,v}{4},$$

endlich $v = 4\,w$, und man kann nun für w jede ganze Zahl setzen, und erhält

$$\begin{aligned} v &= 4\,w, \\ q &= 3\,v - 3 + 3\,w = 15\,w - 3 \\ u &= q + v = 19\,w - 3, \\ m &= 15.\ 19.\ w - 52, \\ t &= 15.\ 28.\ 19.\ w - 1442. \end{aligned}$$

Hier könnte nun freilich für w jede ganze Zahl stehen, da aber noch keine ganze Periode verflossen ist, so können wir blofs $w = 1$ gebrauchen und es ist

$t = 7980 - 1442$,

also das Jahr 1825 das 6588[te] der Julianischen Periode.

Der Anfang dieser Periode fällt daher so, daſs das erste Jahr unsrer Zeitrechnung, oder das erste Jahr nach Christi Geburt das 4714[te] der Julianischen Periode ist. Das erste Jahr vor Christi Geburt ist, da die Chronologen die Geburt Christi als mit dem Ende des Jahrs (25. Decemb.) zusammentreffend ansehen, das 4713[te] der Julian. Periode, und darnach ist es nun leicht, jede nach einer genauer bestimmten Aera angegebne Jahreszahl auf die Jul. Periode zurückzuführen[1].

Joseph Scaliger ist derjenige, der diese für die historische Chronologie so nützliche Periode angegeben hat, und alle Chronologen haben sie angenommen. „Man kann", sagt Ideler, „mit Recht behaupten, daſs erst seit ihrer Einführung Licht und Ordnung in die Chronologie gekommen ist."

Von andern Perioden s. Art. *Periode.*

Cyklische Rechnung ist die Bestimmung der Mondserscheinungen, besonders des Neu- und Vollmondes nach dem Mondscyklus, der, da er nur ganze Tage angiebt und überdies nicht völlig genau ist, zuweilen von der astronomischen Rechnung abweicht. Welche Verfügungen in dieser Hinsicht in Beziehung auf das Osterfest statt finden, s. Art. *Kalender*[2]. *B.*

Cylinderspiegel.

Speculum cylindricum; miroir cylindrique; *cylindrical mirror.* Allgemein muſs man darunter alle die gekrümmten Spiegelflächen verstehen, welche die Eigenschaft der Cylinderflächen haben, daſs alle mit einer gewissen Linie, welche die Axe des Cylinders heiſst, parallel gelegte Ebenen die Fläche so schneiden, daſs die Durchschnittslinien gerade, jener Axe parallele Linien sind; hier werde ich indeſs nur bei den Spiegelflächen, deren auf die Axe senkrechte Querschnitte Kreise sind, verweilen.

Um zu bestimmen, wie sich in einem solchen Spiegel, wenn die Spiegelung in der convexen Oberfläche vorgeht, die

---

1 Idelers Chronologie I. S. 76.

2 M. Kornicks System d. Zeitrechn. §. 39.

Gegenstände darstellen, und ferner, wie das verzerrte Bild eines Gegenstandes gezeichnet seyn muſs, damit man im Spiegel den Gegenstand in seiner richtigen Gestalt sehe, wollen wir zuerst folgende Vorbemerkungen machen.

Fig. 92. Wenn das Auge O und der Gegenstand A in einer durch die Axe des geraden Cylinders gelegte Ebene liegen, so geschieht die Zurückwerfung in eben dieser durch des Cylinders Axe gelegten Ebene und wie bei ebenen Spiegeln ist O D B = A D E. Liegt dagegen das Auge und der Gegenstand in einer auf die Axe des Cylinders senkrechten Ebene, so läſst sich über die Lage des Punctes, wo am Spiegel der Strahl zurückgeworfen wird, eben so urtheilen, als wenn die Spiegel-Oberfläche eine bloſse Kreislinie wäre. Es sey A das Auge, so erhellt, daſs von Gegenständen, die zwischen B D, E F hinter dem Spiegel liegen, gar keine Strahlen vermöge der Spiegelung ins Auge kommen können, oder daſs die Tangenten A B D, A E F die durch Spiegelung sichtbar werdenden Gegenstände begrenzen. Wäre ein Gegenstand G gegeben, so könnte man fragen, in welchem Puncte Z des Kreises der von G ausgehende Lichtstrahl den Kreis treffen müsse, um durch Zurückwerfung zum Auge zu gelangen, und offenbar müſste dieser Punct so liegen, daſs die Winkel an der Tangente S T gleich würden, also daſs A Z S = G Z T wäre; die Bestimmung dieses Punctes ist schwieriger, als die Beantwortung der umgekehrten Frage, wie groſs der Halbmesser des Cylinders seyn muſs, damit A C Z einen gegebenen Werth = φ erhalte; wenn G und A bestimmt sind. Da nämlich, wie sehr leicht erhellt, wenn der Radius C Z nach Y verlängert worden,

Fig. 93.

$$\text{Tang. } A Z Y = \text{Tang. } G Z Y \quad \text{oder}$$

(wenn $A C = a$, $G C = b$, $A C G = \alpha$, $A C Z = \varphi$, $C Z = r$ ist),

$$\frac{a \text{ Sin. } \varphi}{a \text{ Cos. } \varphi - r} = \frac{b \text{ Sin. } (\alpha - \varphi)}{b \text{ Cos. } (\alpha - \varphi) - r} \quad \text{ist,}$$

so erhält man $r = \dfrac{- a\, b.\ \text{Sin. } (2\varphi - \alpha)}{b \text{ Sin. } (\alpha - \varphi) - a \text{ Sin. } \varphi}$ als eine Gleichung für die Halbmesser aller Kreisspiegel, in denen der Punct G von dem Auge A so gesehen werden könnte, daſs φ einen bestimmten Werth erhielte.

Die Frage, wo muſs G liegen, um dem Auge A in dem Puncte Z abgespiegelt zu erscheinen, ist viel leichter, und reicht zu Auflösung der Aufgabe, wie die Anamorphosen, die verzerrten Bilder, gezeichnet werden müssen, hin. Es erhellt nämlich sogleich, daſs wenn der Kreis, und in ihm der Punct Z gegeben, A aber das Auge ist, man nur nöthig hat, T Z G gleich dem gegebenen A Z S zu zeichnen, und daſs jeder auf Z G liegender Punct in Z abgespiegelt wird, also dem Auge in der Richtungslinie A Z X erscheint.

Mit dieser leichten Betrachtung läſst sich der allgemeine Fall, wo das Auge nicht mit dem Gegenstande in derselben gegen die Axe senkrechten Ebene liegt, auf folgende Weise in Verbindung setzen. Es sey A S Z T G die durch den Gegenstand auf die Axe des Cylinders senkrecht gelegte Ebene, O das Auge, O A senkrecht auf jene Ebene, also A die Projection des Auges, G der Gegenstand. Ferner sey Z der Punct in der Oberfläche des Cylinders, wo ein von G kommender Strahl G Z nach Z A zurückgeworfen würde, S T sey die in der Ebene A Z G an den Cylinder gezogne Tangente, also A Z S = G Z T. Man ziehe nun Z z als eine in der Cylinderfläche liegende Parallele zur Axe und durch diese lege man die beiden Ebenen O A Z z und G Z z, ferner sey S T P Q die durch Z z gelegte Berührungs-Ebene, so sind alle diese drei Ebenen auf A S Z T G senkrecht, und die beiden Ebenen A O z Z und G Z z machen gleiche Winkel mit der Berührungs-Ebene, indem A Z S = G Z T die Neigungswinkel sind. Wenn man nun endlich durch O G eine Ebene auf die Berührungs-Ebene senkrecht setzt, die in U an den Cylinder trifft, so ist U der Punct, wo der von G kommende Strahl nach dem Auge hin zurückgeworfen wird. Dies wäre bewiesen, wenn man zeigte, daſs die Strahlen O U, G U mit der durch U in eben der Ebene gezognen Tangente s t gleiche Winkel machen. Daſs s t, diejenige Linie, in welcher die Ebene O U G die durch U gehende Berührungs-Ebene P Q T S schneidet, eine Tangente des Cylinders sey, erhellt von selbst. Betrachtet man nun die zwei körperlichen Dreiecke, deren gemeinschaftliche Spitze U ist, und deren Seiten-Linien U O, U s, U z im einen, und U G, U t, U z, im andern sind, so sind die Seiten s U z = t U Z als Scheitelwinkel gleich; ferner der zwischen s U z, O U z eingeschlossene Neigungswinkel dem

Fig. 94.

zwischen t U Z, G U Z gleich; endlich der zwischen O U s, s U z so wie der zwischen G U t, t U Z eingeschlossene Neigungswinkel ein rechter; also nun auch die übrigen Stücke der beiden körperlichen Dreiecke gleich und namentlich auch O U s = G U t.

Nun ist es leicht, den Punct in der Ebene A S Z T G anzugeben, wo der Gegenstand G dem Auge O erscheint. Es ist nämlich klar, dafs O U bis an diese Ebene verlängert in g, da in sie eintrifft, wo g U = G U, g v = G v ist, wenn G g auf Z t v senkrecht ist. Ein andrer Punct H in derselben geraden Linie G Z würde in h, da erscheinen, wo die auf Z T gezogne Senkrechte h w = w H ist, und so in allen Fällen.

Hieraus fliefst eine leichte Regel, um die Anamorphosen oder verzerrten Bilder zu zeichnen, die im Spiegel so erscheinen, wie eine auf der Grundfläche des Cylinders gezeichnete Figur dem Auge erscheinen würde.

Fig. 93. Man zeichne nämlich auf die Ebene der Grundfläche des Cylinders, wo der Kreis E Z B diese Grundfläche vorstellt, in A die Projection des Auges, in X x′ den Gegenstand, den man im Spiegel dargestellt zu sehen glauben soll; von jedem Puncte X, x″, x′ dieser gezeichneten Figur ziehe man nach A die geraden Linien X A, x″ A, x′ A, und wo diese in Z, z″, z′ den Kreis schneiden, zeichne man die Tangente S Z T, z″ t″, z′ t′, fälle auf sie die Perpendikel X U, x″ u″, x′ u′, die man so weit verlängert, bis G U = X U, g″ u″ = x″ u″, g′ u′ = x′ u′ ist, dann sind G, g″, g′ die Puncte im verzerrten Bilde, welche die X, x″, x′ vorstellen.

Diese Zeichnungsmethode setzt voraus, dafs man sich das im Spiegel gesehene Bild auf der Ebene der Grundfläche gezeichnet vorstelle; aber da man den aufrecht stehenden Cylinder vor sich hat, so wird man sich wohl eher einbilden, das, was man im Spiegel sieht, sey ein auf einer aufrecht stehenden Tafel gezeichnetes Bild. Um unter dieser Voraussetzung das verzerrte Bild richtig zu zeichnen, stelle man sich die Tafel vor, die sich über der Sehne E B senkrecht stehend erhebt; Fig. 95. wird diese durch E B e b angegeben, so zeichne man auf dieser Ebene die Figur, die sich dem Auge im Spiegel darbieten soll, z. B. u U. Man ziehe nun vom Auge O auf die Grundfläche des Cylinders die Senkrechte O A, und von allen Puncten u, U

der Figur senkrechte Linien u v, U V gegen eben die Ebene; von A ziehe man durch V die Linie A V und von O durch U die Linie O U, eben so A v und O u, wo jene sich in Z, diese sich in z durchschneiden, dahin referirt das Auge O die Puncte U, u, wenn es sich dieselben in die Ebene der Grundfläche übertragen denkt. Hat man so die Figur U u nach Z z übertragen, so würde nun die Zeichnung der Anamorphose aus Z z so hergeleitet, wie es oben angegeben ist.

Es versteht sich übrigens hieraus von selbst, dafs man, wenn man solche Anamorphosen mit dem zugehörigen Cylinderspiegel vor sich hat, nach der Stellung, die das Auge haben soll, fragen mufs, indem man bei unrichtiger Stellung des Auges keineswegs das Bild so sieht, wie es der Fall seyn soll. *B.*

D.

Dämmerung.

Crepusculum, Crépuscule, *the Twilight*, heifst die vor Sonnen-Aufgang und nach Sonnen-Untergang statt findende Helligkeit.

1. Die *Morgendämmerung* (*crepusculum matutinum*, crépuscule du matin, *Dawning of the day*) ist die Helligkeit vor Sonnen-Aufgang; ihr erster Anfang heifst der Tages-Anbruch (*Diluculum*, pointe du jour, *Dawning*); *Abenddämmerung* (*Crepusculum vespertinum*, crépuscule du soir, *twilight*) dagegen ist die nach Sonnen-Untergang noch fortwährende Helligkeit.

2. Dafs die Luft etwas von dem auf sie fallenden Lichte zurückwirft, sehen wir schon bei Tage, indem fast allein dadurch die allgemeine Helligkeit entsteht, die selbst die von der Sonne nicht beschienenen Gegenstände lebhaft erleuchtet. Diese Helligkeit rührt offenbar nur im geringern Grade von dem Lichte her, welches die Gegenstände auf der Erde zurückwerfen, denn selbst

in Zimmern, die wenig oder gar kein Licht von irdischen Gegenständen reflectirt erhalten können, ist es sehr hell; es entspringt auch nicht allein aus dem Lichte, welches die Wolken zurückwerfen, denn wenn gleich diese die allgemeine Tageshelle zuweilen sehr vermehren [1], so bleibt es dennoch immer hell genug, wenn auch nur die wolkenlose Luft, der blaue Himmel, unsere Zimmer erhellt. Diese Helligkeit dauert nun auch vor Sonnen-Aufgang und nach Sonnen-Untergang fort, weil die höheren Luftschichten noch lange von der Sonne beschienen werden, wenn uns die Sonne schon untergegangen ist. Wenn die Sonne tiefer unter den Horizont hinab sinkt, so wird die Luft immer minder erleuchtet und man nimmt an, daſs bei 18 Grad Tiefe der Sonne unter dem Horizont alle Sterne, die das Auge zu erkennen vermag, sichtbar sind, oder die Dunkelheit dann vollkommen eingetreten ist.

Von der nahen Richtigkeit dieser Annahme habe ich mich durch eigne Beobachtung überzeugt, indem ich in der Nacht vom 14. zum 15. Jul. und vom 16. zum 17. Jul. 1825. um Mitternacht bei völlig heiterm Himmel auf den sehr geringen Ueberrest von Dämmerung achtete. Gerade um Mitternacht war der nördliche Horizont nur unbedeutend heller als der übrige, und nur eine Vergleichung dessen, was sich am nördlichen und östlichen Horizonte dem Auge darbot, lieſs noch einen kleinen Unterschied wahrnehmen. Aber gleich nach Mitternacht ward die Dämmerung deutlich sichtbar. Da in diesen Nächten die gröſste Tiefe der Sonne in Breslau $17\frac{1}{4}°$ und $17\frac{1}{2}°$ betrug, so erhellet, daſs 18° Tiefe der Sonne, als Grenze der Dämmerung gelten kann. Uebrigens erhellet wohl, daſs nicht jede Beobachtung etwas genau Gleiches geben wird, da z. B. wenn jenseit der Gegenden, deren Wolken noch über unserm Horizont erscheinen könnten, ein bedeckter Himmel ist, von dem wir nichts gewahr werden, dieses gewiſs die Dauer der Dämmerung verkürzen wird.

Bei dieser Tiefe der Sonne tritt das völlige Ende der *astronomischen Dämmerung* ein; man sieht die Sterne so vollkommen als möglich, und die Dunkelheit nimmt nun nicht

---

1 Nach Leslie vorzügl. dann, wenn der Himmel bei schönem Sonnenschein an vielen Stellen mit weiſsen Federwolken belegt ist.

mehr zu. Wenn wir dagegen im gewöhnlichen Leben von der Dämmerung sprechen, so setzen wir ihr Ende schon viel früher, und je nachdem wir es auf eine oder die andre Beschäftigung beziehen, früher oder später an. Man pflegt als Grenze dieser, unter dem Namen der *bürgerlichen Dämmerung* bekannten Tageshelle die Zeit anzugeben, wo man ohne Kerzenlicht nicht mehr die gewöhnlichen Geschäfte im Zimmer vornehmen kann. Diese Bestimmung ist nicht sehr genau, da die Lage des Zimmers hiebei eine bedeutende Verschiedenheit bewirkt. Um etwas Bestimmteres, wenn gleich auch durch Oertlichkeit und individuelle Gesichtsschärfe Beschränktes anzugeben, habe ich die bei ganz heiterm Himmel, ohne eine einzige Wolke, anbrechende Morgendämmerung des 15. Jul. 1825 benutzt, wo ich mich auf der Sternwarte, die gegen Nordost einen völlig freien Horizont hat, befand. Ich nahm, um zu versuchen, wann man lesen könne, das astron. Jahrbuch von Bode, und fand, wenn ich es gegen das Licht kehrte, 1. dafs ich das Wort: Jahrbuch auf dem Titelblatt lesen konnte, 1 St. 31′ ehe der oberste Sonnenrand aufging, oder als der Mittelpunct der Sonne noch $10\frac{1}{2}$ Grad unter dem Horizont war; 2. dafs ich die gröfser gedruckte Ueberschrift der Seiten lesen konnte 1 St. 8′ vor jenem Zeitpuncte, Tiefe der Sonne = $8\frac{1}{2}$ Grad; 3. dafs ich die gewöhnliche Schrift im Jahrbuche 12 Min. später lesen konnte; Tiefe der Sonne = $7\frac{1}{2}°$; 4. dafs ich in dem Saale der Sternwarte das Licht auslöschen konnte, 17 Minuten später, oder als die Tiefe der Sonne 6 Grad betrug. [Nämlich die wahre Tiefe des Sonnenmittelpunctes unter dem Horizonte.] Diese letzte Tiefe 6 bis $6\frac{1}{2}$ Gr. pflegt man auch als das *Ende der bürgerlichen Dämmerung* anzugeben.

Astronomische Untersuchungen über die Dauer der Dämmerung.

3. Da die Sonne in verschiedenen Gegenden der Erde und in verschiedenen Jahreszeiten die Tiefe von 18 Graden nicht gleich schnell erreicht, so ist die ganze Dauer der Dämmerung sehr ungleich. Wenn man sich 18 Grade unter dem Horizonte einen Parallelkreis des Horizontes denkt, den man den *Dämmerungskreis* (*terminus crepusculorum*) nennt,

Z S P = Z s' P ist, und nimmt man ferner S T = s' t auf dem Parallelkreise, so wird zwar das Gestirn in gleichen Zeiträumen von S nach s' und von T nach t gelangen, aber seine Höhe mehr ändern, während es von S nach s', als während es von T nach t gelangt. 4. Folglich muſs man um eine bestimmte Aenderung der Höhe in der kürzesten Zeit zu erhalten, diejenigen zwei Puncte S, s' auf dem Parallelkreise suchen, die erstlich an Höhe um so viel verschieden sind, als verlangt wurde, und in denen zweitens die Winkel Z S P = Z s' P sind.

Die Beweise für diese Sätze sind folgende. — 1. Es sey im Allgemeinen $PZ = 90° - p$, $PS = 90° - d$, $ZS = 90° - h$, so ist:

$$\text{Sin. } ZSP = \frac{\text{Cos. } p \ \text{Sin. } SZP}{\text{Cos. } d},$$

also da p und d ungeändert bleiben, Z S P am gröſsten, wenn $SZP = 90°$ ist. 2. Man findet

$\text{Sin. } h = \text{Sin. } p \ \text{Sin. } d + \text{Cos. } P \ \text{Cos. } p \ \text{Cos. } d$, also für die Aenderung von h, $dh \ \text{Cos. } h = - dP \ \text{Sin. } P \ \text{Cos. } p \ \text{Cos. } d$ oder weil $\text{Sin. } ZS = \text{Cos. } h = \frac{\text{Sin. } P. \ \text{Cos. } p}{\text{Sin. } S}$, $dh = - dP$. $\text{Cos. } d \ \text{Sin. } S$.

Versteht man also unter dP immer gleiche Aenderungen, und erinnert sich, daſs P der Stundenwinkel ist, dessen Aenderungen gleichmäſsig in gleichen Zeiten erfolgen, so erhellet, daſs für gleiche Zeitmomente die Aenderung der Höhe dem Sin. S proportional ist, also in s am schnellsten, in S eben so schnell als in s' und so ferner, wenn Z S P = Z s' P, ist. 3. Da in s' t die Winkel an s' kleiner sind als in S T, so ist das Abnehmen der Höhe in s' t langsamer als in S T und wenn S s' = T t, so ist die Abnahme der Höhe während das Gestirn von S nach s' gelangt, gröſser als während es von T nach t gelangt, woraus dann von selbst die Regel folgt, daſs diejenigen Puncte S, s', der schnellsten Höhen-Aenderung entsprechen, für welche, während sie um die gegebne Höhe verschieden sind, Z S P = Z s' P ist.

6. Hiernach lieſse sich für jede gegebene Declination der Sonne die Frage beantworten, wo die Sonne in ihrem Tagebo-

gen stehen mufs, damit 18 Grad Höhen-Aenderung in der kürzesten Zeit statt finde; aber unsre Frage ist eine etwas andere, nämlich in welcher Declination = d die Sonne sich befinden mufs, damit die Höhen-Aenderung vom Horizont bis 18 Grade unter dem Horizonte am schnellsten erfolge.

Hier liegt also der eine Punct S im Horizonte, der andre 18 Gr. unter dem Horizonte, oder Z S = 90°, Z s' = 108°, und es soll

$$\text{Cos. } S = \frac{\text{Sin. } p - \text{Cos. } 90^\circ. \text{ Sin. } d}{\text{Sin. } 90^\circ. \text{ Cos. } d},$$

$$\text{und Cos. } s' = \frac{\text{Sin. } p - \text{Cos. } 108^\circ. \text{ Sin. } d}{\text{Sin. } 108^\circ. \text{ Cos. } d}$$

gleich grofs seyn, also:

$$\text{Sin. } d = \frac{\text{Sin. } p. \ (1 - \text{Sin. } 72^\circ)}{- \text{Cos. } 72^\circ},$$

das ist Sin. d = — Sin. p Tang. 9° [1]. Für die Pohlhöhe von 50 Grade ist also die kürzeste Dauer der Dämmerung dann, wenn d = 6° 58' südlich ist, das ist am 3. März und 11. Oct. unter 60 Gr. Breite müfste d = 7° 53' südl. seyn, welches am letzten Februar und 18 Oct. der Fall ist [2].

Wenn man die kürzeste Dauer derjenigen Dämmerung finden will, welche mit der Tiefe der Sonne = 6½ Gr. aufhört, so bleibt die Formel eben so, nur mufs statt Tang. 9° stehen, Tang. 3° 15'. Diese kürzeste Dämmerung findet unter 50 Gr. Breite am 14. März und 29. Sept. statt, wenn die Sonne 2° 29' südl. Decl. hat, und ihre Dauer ist 40 Min. statt dafs die kürzeste Dauer der astronomischen Dämmerung unter dieser Breite 1 St. 53 M. ist.

---

1 Andere Auflösungsmethoden giebt Lulofs Einl. z. Kenntnifs d. Erdkugel, übers. von Kaestner. Th. 2. S. 77. und Bohnenbergers Astronomie S. 78.

2 Die Formel Sin. d = — Sin. p tang. 9° scheint auch für gröfsere Polhöhe Werthe zu geben, z. B. für p = 90°, d = 9° 7'; da aber die Tiefe von 18 Gr. bei dieser Declination gar nicht erreicht wird, und überhaupt dort keine Erscheinen der Sonne im Horizonte und in einer Tiefe von 18 Graden statt findet, so fällt dort die Anwendung weg.

7. Was die Geschichte dieser Untersuchungen betrifft, so läßt sich diese sehr kurz fassen.

Schon ALHAZEN hat über die Tiefe der Sonne, bei welcher die Morgendämmerung anfängt und die Abenddämmerung aufhört, richtige Bestimmungen gemacht, die RICCIOLI mit den Angaben andrer Astronomen anführt [1]. Die Tage der kürzesten Dämmerung hat schon NUNNEZ durch geometrische Betrachtungen richtig bestimmt [2]. Die analytische Auflösung des Problems, die Zeit der kürzesten Dämmerung zu finden, hat JOH. BERNOULLI lange beschäftigt, und er ist der erste, der die Auflösung gefunden hat [3].

Optische Untersuchungen über die Dämmerung.

8. Schon im Art. *Abendröthe* ist mehreres angegeben, was auch hierher gehört, ich will zu dem dort Erwähnten hier noch Einiges beifügen. Bald nach Sonnen-Untergang zeigt sich gerade der Sonne gegenüber ein bogenförmig begrenzter blauer Raum, über welchem die Röthe, die sich vorhin bis an den östlichen Horizont erstreckte, noch fortdauert. Dieser Bogen ist zwar nicht scharf, aber doch hinreichend deutlich begrenzt, um zu erkennen, daſs seine gröſste Höhe der Sonne gegen über liegt; das oberhalb sichtbare matte Roth geht in gröſserer Höhe in Weiſs über, und erst noch höher hinauf hat der Himmel seine gewöhnliche blaue Farbe. Dieses blaue Segment ist es, was MAIRAN [4] Gegendämmerung genannt hat; es ist offenbar nichts anders, als der Schatten, den die Erde auf die Atmosphäre wirft, so daſs nur noch der höhere, nicht beschattete Theil uns, als unmittelbar von der rothgelb scheinen-

---

1 Riccioli almag. nov. I. 39. Alhazen de crepusculis in Risneri thesaurus opticae.

2 Nonius de crepusculis.

3 Joh. Bernoulli opera. I. 64. wo er jedoch nur das richtige Resultat mittheilt, und klagt, daſs selbst die am leichtesten scheinende Methode in so höchst weitläuftige Rechnungen führe, wenn sie gleich endlich eine sehr einfache Formel gebe.

4 Traité de l'aurore boreale Ed. 2. p. 79. Funk de coloribus coeli p. 144.

den Sonne erleuchtet, orangefarbe oder geröthet erscheint. Man kann fragen, warum denn dies Segment blau erscheine? — Offenbar weil es Licht von dem in unserm Zenith noch immer blau erscheinendem Himmelsgewölbe erhält, also von blauem Lichte erleuchtet ist, das zwar mit weifsem Lichte gemischt ist, aber doch das Blau in stark vorwaltendem Mafse enthält. Dieses Blau am östlichen Horizont ist dunkler als das gewöhnliche Blau des Himmels und als das Blau im Zenith, weil offenbar von den Strahlen, die der blaue Himmel im Zenith dorthin sendet, nur ein geringer Theil abermals zurückgeworfen wird.

Auch das Weifs oder das weifsliche Grau, welches oberhalb des röthlichen Bogens, über jenem Blau den Uebergang in das gewöhnliche Himmelblau, das am Zenith noch immer gesehen wird, bildet, läfst sich leicht erklären. Der Beobachter in A bekommt nämlich, wenn die Sonne in N untergeht und bis N O die Atmosphäre beschattet ist, aus den in der Höhe B liegenden, noch mit Dünsten beladenen, Schichten gelbrothe Strahlen, so wie sie die dort noch scheinende Sonne liefert, aber zugleich aus den höhern Schichten B D, die von ungetrübtem Sonnenlichte erleuchtet werden, blaue Strahlen, ja selbst die Dünste bei B A, die zwar auch vom Abendroth, aber zugleich doch vom blauen Himmel E erleuchtet werden, geben nicht wenige blaue Strahlen, und das Auge erhält also in geringer Höhe über dem von der Erde beschatteten Theile F O des Himmelsgewölbes durch Zurückwerfung alle Arten von Strahlen; und es läfst sich daher begreifen, wie diese Mischung da, wo weder das Orange der Abendröthe noch das Blau des Himmels das Uebergewicht hat, jenes nicht ganz reine Weifs hervorbringen kann, welches wir oberhalb des rothen Bogens im Osten bemerken.

Fig. 98.

Wenn die Sonne noch etwas tiefer sinkt, so werden die helleren Sterne an der der Sonne gegenüberstehenden Seite zuerst sichtbar. Nach Lamberts Beobachtungen geht die Grenze der noch unmittelbar von der Sonne erleuchteten dichtern Luft durch das Zenith, wenn die Sonne $6\frac{1}{2}$ Gr. unter dem Horizonte steht, und dann sieht man schon die gröfsern Sterne.

Die orangefarbene Abendröthe zieht sich unterdefs in einen immer engeren Raum zum westl. Horizonte hinab, und über ihr zeigt sich ein weifser, bogenförmig begrenzter Raum, den

man den *Dämmerungsschein* nennen kann. Er ist weiſs, weil die niedrigere dunstige Luft in der Gegend, wo wir ihn sehen, gar nicht oder sehr wenig von der Sonne geradezu mehr erhellet wird, sondern ein Gemisch von Strahlen der Abendröthe und des blauen Himmels die Dünste der untern Luft erleuchtet. Steht nämlich die Sonne so tief unter dem Horizont des Beobachters in A, daſs G H ihre die Erd-Oberfläche berührenden Strahlen vorstellt, so sieht der Beobachter in A und noch bei K etwas von der durch die untergehende Sonne orangefarben erleuchteten, dunstigern Luft; in der Gegend von E aber, wohin keine directen Strahlen mehr gelangen, werden die Luftschichten und Dünste theils von den bei M gelbroth erleuchteten Dünsten, theils von dem blauen Himmel bei H beschienen, und diese Mischung giebt ihnen das weiſsliche Ansehen, welches den spätern Dämmerungsschein nach der Abendröthe darbietet. Dieses Weiſs geht desto mehr in Blau über, je weiter es von dem noch als Abendröthe erscheinenden Streifen am Horizont entfernt ist.

9. Kennten wir die Höhe derjenigen Luftschichten, welche noch geschickt sind, um hinreichendes Licht zurückzuwerfen, so würden wir die Dauer der ganzen Dämmerung berechnen, und auch ihre nach und nach erfolgenden Erscheinungen genauer übersehen können. Es stelle A B C die Oberfläche der Erde vor, D E F G die Grenze der Luftschicht, die noch fähig ist, Lichtstrahlen in erheblicher Menge zurückzuwerfen; dann wird, wenn die Sonne dem Beobachter in A untergeht, der Theil D E der Atmosphäre noch von der Sonne erleuchtet, und wenn E B F die Erde in B berührt, so sieht ein Beobachter in B noch die äuſserste Grenze der von der Sonne erleuchteten Luft; ferner, der Theil F E der Atmosphäre erhält durch die in D E erleuchtete Luft noch etwas Licht, und wenn wieder F C G eine Tangente ist, so sieht der Beobachter in C noch die letzte Grenze der durch die erste Zurückwerfung erleuchteten Luft u. s. w. Wir können daher, theoretisch wenigstens, eine *erste Dämmerung*, *Hauptdämmerung* (*crepusculum primarium*,) von der *zweiten Dämmerung* (*crepusculum secundarium*) unterscheiden; und wenn wir zum Beispiel annähmen, die Luft sey bis zu 2 Meilen Höhe noch dicht genug,

Fig. 99.

um Licht in erheblicher Menge zurückzuwerfen, so wäre KB = 860 Meilen, KE = 862 Meilen, also BKE = 3° 50′, die erste Dämmerung würde aufhören, wenn die Sonne 7° 40′ unter dem Horizonte ist, die zweite Dämmerung, wenn sie 15° 20′ unter dem Horizonte ist. Diese Zahlen müſsten indeſs, selbst wenn die Höhe der Luftschicht ganz richtig wäre, noch etwas verbessert werden. Wegen der Refraction nämlich gelangt der Lichtstrahl DE nicht gerade, sondern etwas gekrümmt nach E und die Beobachtung lehrt, daſs diese Krümmung oder die Refraction bei Sonnen-Untergang ½ Gr. beträgt; dieser halbe Grad, welcher der Krümmung des DA entspricht, kommt beinahe auch, (wenn gleich nicht völlig, da DA schon in den noch höhern Schichten der Atmosphäre einige Brechung erlitten hatte) in AE abermals und in EB abermals vor; wir müſsten daher das Ende der ersten Dämmerung etwa dann annehmen, wenn die Tiefe der Sonne = 7° 40′ + 1° 30′ oder etwa 9 Grad ist, und das Ende der zweiten Dämmerung, wenn die Tiefe der Sonne = 15° 20′ + 2° 30′, also nahe genug 18 Grad ist. Hiernach könnten wir 2 Meilen wohl als die Höhe derjenigen Atmosphäre ansehen, die noch bedeutend zur Unterhaltung der Dämmerung beiträgt, und es scheint mir kaum möglich, die Bestimmung viel genauer zu erhalten.

10. Lambert[1] hat eine genauere Berechnung dieser Höhe versucht, die aber wegen der Unmöglichkeit, ganz genaue Beobachtungen anzustellen, doch zu keinem recht genügenden Resultate führt. Er beobachtete nämlich zu bestimmten Zeiten die Höhe des hellen Bogens, den die Dämmerung darstellte, und schloſs daraus auf die Höhe der Lufttheilchen, die dort, von der Sonne erleuchtet, sichtbar wurden; aber wenn man für verschiedene Zeiten aus der Höhe dieses Bogens die Höhe der Atmosphäre berechnet, so ergeben sich sehr ungleiche Resultate, sobald man diesen Bogen als Grenze der Hauptdämmerung ansieht. Befindet sich nämlich der Beobachter in H und sieht in E die Grenze

1 Photometria seu de mensura luminis, colorum et umbrae. Pars 5. Cap. 3. Auch die frühern Schriftsteller, namentlich Nunnez haben die Höhe der Atmosphäre aus der Dauer der Dämmerung zu berechnen gesucht, doch sind ihre Bestimmungen sehr unvollkommen.

der Hauptdämmerung, so ist der Winkel, den E H mit dem Horizonte des Beobachters macht, die Höhe des hellen Bogens, den die Haupt-Dämmerung darstellen würde, wenn keine zweite Dämmerung sich damit mischte. Nimmt man also an, daſs A derjenige Punct ist, wo die Sonne scheinbar untergeht, so sind in dem Viereck K A E H alle Winkel und die beiden Seiten K H = K A gegeben, woraus sich K E bestimmen läſst. Eigentlich sind weder A E noch E H völlig gerade, sondern wegen der Strahlenbrechung etwas gekrümmt, worauf auch Lambert bei seiner Rechnung Rücksicht nimmt.

Um hier nur das Wesentlichste anzugeben, und zugleich zu zeigen, wie groſs der Einfluſs der Refraction sey, will ich die Rechnung doppelt führen, H E und A E als gerade ansehen, aber einmal K A E = 90° und K H E = dem beobachteten Winkel, das andre mal K A E = (90° — Horizontalrefraction) und E H K gleich dem wegen der Refraction corrigirten Winkel setzen.

Lambert fand, als die wahre Tiefe der Sonne unter dem Horizont 8° 8′ war, die Höhe des Dämmerungsbogens 8° 30′; als die wahre Tiefe der Sonne 10° 42′ war, die Höhe des Bogens 6° 20′.

Für die erste Beobachtung ist also H K A = 8° 8′ — 0° 33′, da Lambert die Horizontalrefraction 33 Min. annimmt,

$$H\,A = 2r\,\text{Sin.}\ 3°\,45',$$

$$H\,E = \frac{2r\,\text{Sin.}^2\ 3°\,45'}{\text{Sin.}\ 16°} = 26,\ 7\ \text{Meilen.}$$

$$\text{Tang}\ H\,K\,E = \frac{H\,E\ \text{Sin.}\ 81°\,30'}{r + H\,E\ \text{Cos.}\ 81°\,30'};$$

$$H\,K\,E = 1°\,45'.$$

$$K\,E - K\,H = 4,\ 3\ \text{Meilen.}$$

Mit Rücksicht auf die Krümmung der Lichtstrahlen müſste man dagegen setzen,

$$H\,A = 2r\ \text{Sin.}\ 3°\,45'.$$

$$H\,E = \frac{2r\ \text{Sin.}\ 3°\,45'.\ \text{Sin.}\ 3°\,12'}{\text{Sin.}\ 15°\,21'} = 23,\ 7\ \text{Meilen.}$$

(weil nämlich $H\,A\,E = 3°\,45' - 0°\,33'$

$E\,H\,A = 8°\,30' - 0°\,6' + 3°\,45'$ ist)

$$\text{Tang. } HKE = \frac{HE \text{ Sin. } 81° \, 36'}{r + HE \text{ Cos. } 81° \, 36'}$$

$HKE = 1° \, 33'$; $KE - KH = 3, 8$ Meilen.

Das Letztere ist richtiger und stimmt mit Lamberts (etwas anders angeordneten) Rechnung überein.

Wiederholt man aber eben die Rechnung für die zweite Beobachtung, so ist

$HKA = 10° \, 9'$

$HAE = 5° \, 4\frac{1}{2}' - 0° \, 33' = 4° \, 31\frac{1}{2}'$.

$EHA = 6° \, 20' - 0° \, 9' + 5° \, 4\frac{1}{2}'$.

$HEA = 180° - 15° \, 47'$.

$$HE = \frac{2 \text{ r. Sin. } 5° \, 4\frac{1}{2}' . \text{ Sin. } 4° \, 31\frac{1}{2}'}{\text{Sin. } 15° \, 47'.} = 44, 1 \text{ Meilen.}$$

$$\text{Tang. } HKE = \frac{HE \text{ Sin. } 83° \, 49'}{r + HE \text{ Cos. } 83° \, 49'}.$$

$HKE = 2° \, 54'$,

$KE - KH = 5, 9$ Meilen.

Und so würde man für jede spätere Beobachtung eine grössere Höhe der Atmosphäre finden, wenn man annähme, dass die Grenze des hellern Dämmerungsscheines immerfort durch die Grenze der Hauptdämmerung bestimmt würde. Diese Voraussetzung scheint auch in der That nicht gelten zu können, sondern jener helle weisse Dämmerungsschein ist wohl grösstentheils als aus der zweiten Dämmerung entstehend anzusehen, oder wenigstens gewiss nicht einer ungemischten Hauptdämmerung zuzuschreiben. Die Mischung beider Dämmerungen muss, jemehr sich die Grenze der Hauptdämmerung dem Horizonte nähert, die Bestimmung dieser Grenze immer trüglicher machen, und es läst sich recht gut übersehen, warum gegen das Ende der Dämmerung die Abnahme der Helligkeit vom Horizont an so sehr merklich ist, und daher dann der helle Bogen sich begrenzter zeigt, als früher. Folgende Betrachtungen werden dies erläutern.

Wir wollen uns, indem die Sonne dem Orte A untergeht, drei verschiedene Beobachter in a, b und H denken, die alle drei ihre Augen nach dem Puncte E, der in unsrer Figur streng angegebenen Grenze der Hauptdämmerung, richten; a sieht diese Grenze nahe am östlichen Horizont, und wenn er nach dem Puncte (Fig. 99.)

e sieht, so geht noch fast die ganze Gesichtslinie a e durch Luft, die von der Sonne erleuchtet ist, die nicht weit davon enfernte Gesichtslinie a f dagegen liegt ganz im Schatten der Erde; da nun die Luft uns um so mehr hell erscheint, je länger die in erleuchteter Luft fortlaufende Gesichtslinie ist, so sieht der Beobachter a in der Gegend e noch lebhafte Helligkeit, in f ein ralatives Dunkel, und er erkennt also die Grenze E mit ziemlicher Deutlichkeit. Der Beobachter b hat die Grenze der Hauptdämmerung im Zenith; sieht er von ihr westlich nach e, so geht freilich seine Gesichtslinie durch einen kleinen Theil der noch bei e von der Sonne beschienenen Luft; aber die Länge dieses Theiles der Gesichtslinie ist geringe, und überdas gelangt nach e nur sehr mattes Licht, das nämlich auf dem weiten Wege D e durch die Atmosphäre sehr geschwächt ist. Der Beobachter b kann daher die durch sein Zenith gehende Grenze der Hauptdämmerung nicht genau erkennen, wie es auch die Erfahrung zeigt.

Eben so wenig kann der Beobachter H, welchem sich die Grenze der Hauptdämmerung zum Untergange neigt, diese Grenze deutlich unterscheiden; und der helle Dämmerungsschein, den er in Westen so ziemlich begrenzt sieht, ist keinesweges die Hauptdämmerung, sondern eine Mischung beider. Aus zwei Gründen aber ist in H die Abnahme der Helligkeit des Himmels in einiger Entfernung vom Horizont sehr schnell. Der Beobachter in H sieht nämlich erstlich eben den Raum f e, der dem Beobachter in b zum Beispiel 20 Grad breit (ich will annehmen 10 Grad östlich und 10 Grad westlich vom Zenith) erschien, unter einem sehr viel kleinern Winkel; denn wenn E H etwa $8\frac{1}{2}$ Gr. über dem Horizont läge, so wäre, für eine 2 Meilen hohe Atmosphäre doch immer H E = 14 Meilen, und wenn ich f e = $\frac{2}{3}$ Meile setze, so erscheint f e nur unter einem Winkel von weniger als $\frac{1}{2}$ Grad, obgleich der Beobachter in b, f e unter einem Winkel von 20 Graden sieht; die ungleich hellen Puncte erscheinen also dem Beobachter H sehr nahe an einander gerückt. Aber wenn man zweitens auch nur auf die zweite Dämmerung sieht, so muſs diese in H und noch mehr in B gegen das Zenith hin schnell abnehmen, da sie an jeder Stelle ungefähr der Länge der Gesichtslinien proportional ist, die für B so abnehmen, wie B f, B g zeigt.

Nach allen diesen Ueberlegungen scheint es mir nicht, daſs die Bestimmung der Höhe derjenigen dichtern Luft, welche noch Lichtstrahlen reflectirt, zu einem hohen Grade von Genauigkeit gebracht werden könnte. Die Unsicherheit wird dadurch noch vermehrt, daſs wir gar nicht genau angeben können, in welchem Maſse die Luft in D, mehr als die Luft in E, durch das von ihr nach f zurückgeworfene Licht dort Erleuchtung bewirken kann. Gewiſs ist die Luft in D viel stärker erleuchtet, als die in E, und da von dieser stärkeres Licht gebenden Luft wohl nach f und g, nicht aber nach F Strahlen gelangen, so liegt darin noch ein neuer Grund, warum die zweite Dämmerung sich stark gegen das Zenith abnehmend zeigen muſs, wenn wir um die Zeit, da die Grenze der ersten Dämmerung untergeht, nur durch sie noch Helligkeit am Himmel sehen.

Um indeſs noch einen Versuch beizufügen, wie man vielleicht die Höhe derjenigen Atmosphäre, die bedeutend viel Licht zurückwirft, finden könne, will ich annehmen, die Grenze der Hauptdämmerung gehe dann unter, wenn die Färbung der Abendröthe aufhört. Diese Färbung geht zuletzt in ein sehr schmuziges Gelbroth, in eine Art von Braun über, und nach einer Beobachtung, die ich darüber bei sehr heiterm Himmel angestellt habe, ist diese Färbung fast im Verschwinden, wenn der Mittelpunct der Sonne $11\frac{3}{4}$ Gr. unter dem Horizont ist. Dann ist

$$KAE = KBE = 89^\circ\ 29',$$
$$BKA = 11^\circ\ 45',\ EKA = 5^\circ\ 52'.$$

Das gäbe $KE - KA = 8,\ 5$ Meilen, vermuthlich etwas zu groſs, indeſs mit Lamberts Rechnung, der diese Höhe $= 3,\ 9$ annimmt, gut übereinstimmend.

11. Lambert hat nach Voraussetzungen, die freilich auch nicht für ganz genau gelten können, versucht, die Erleuchtung zu berechnen, welche eine horizontale Ebene vermöge der Hauptdämmerung bei verschiedener Tiefe der Sonne unter dem Horizonte erhält [1]. Das Merkwürdigste aus diesen Berechnung [2] ist die schnelle Abnahme der Erleuchtung um die Zeit, da die

---

1 Photometria p. 453.

2 Von der Anordnung einer solchen Berechnung; S. Art. *Erleuchtung*.

Grenze der ersten Dämmerung durch das Zenith geht, oder wo die Tiefe der Sonne von 6 bis 7 Grad zunimmt. Nach seinen Voraussetzungen geht die Grenze der Dämmerung durch das Zenith, wenn die Sonne 6° 28′ unter dem Horizont ist, und die dann statt findende Erleuchtung einer horizontalen Ebene setzt er = 1; wenige Minuten früher, als die Sonne nur 6° 5′ unter dem Horizont war, findet er die Erleuchtung = 1, 75; und wenige Minuten später, als die Sonne 6° 50′ unter dem Horizont war, findet er sie = 0, 13. Dieses Resultat, wobei die Wirkung der zweiten Dämmerung ganz unbeachtet gelassen ist, hat doch darum einige Merkwürdigkeit, weil die Erfahrung allerdings lehrt, daſs um diese Zeit die Dunkelheit sehr schnell zunimmt; jedoch lange nicht in dem Maſse. Es wäre wohl der Mühe werth, durch Versuche hierüber etwas Genaueres auszumitteln. *B.*

Dämmerungskreis.

Circulus s. terminus crepusculorum. Man versteht darunter den in 18 Gr. Tiefe unter dem Horizont gezogenen Parallelkreis des Horizonts, weil, wenn die Sonne diesen erreicht, die Dämmerung aufhört.

Auch in einer andern Bedeutung hat man dies Wort gebraucht. Die Dämmerung nämlich, so wie wir sie am Himmel sehen, zeigt sich ungefähr kreisförmig begrenzt, und diese sehr verwaschene Begrenzung kann man allenfalls auch Dämmerungskreis nennen. Den höchsten Punct der Grenze dieses hellen Segments nennt Lambert *culmen crepusculi*, den höchsten Punct des Dämmerungsscheines. *B.*

Dammerde.

Gartenerde; *Humus;* Terreau; *Mould, Upper earth.* Hierunter versteht man das zerreibliche Gemenge von mechanisch und chemisch zersetzten Gebirgsarten einerseits, und von vegetabilischen und thierischen Ueberbleibseln andererseits, mit welchem der gröſste Theil des Erdbodens bedeckt ist, und welches vorzüglich den Pflanzen zur Befestigung und Nahrung dient. Die häufigeren Gemengtheile der Dammerde sind: Quarzsand, Glimmerblättchen, Thon, oft sehr reich an

Eisenoxydhydrat, kohlensaure Bittererde, kohlensaurer und schwefelsaurer Kalk, verschiedene Kali- und Ammoniaksalze, zum Theil freie Säure, Wasser, Holzfaser, Moder und Extractivstoff des Humus. Unter letzteren versteht man alle diejenige organische Materie, welche im Wasser löslich ist, und die häufig in ihrer Natur abweichen mag; unter Moder der nicht in Wasser, aber in Kali löslichen organischen Theil den Dammerde. Dieses Gemenge variirt auf mannigfache Weise in seiner Zusammensetzung, und dadurch ist die verschiedene Fruchtbarkeit desselben bedingt. Im Ganzen ist die Dammerde um so fruchtbarer, jemehr Moder und andere organische Reste sie enthält, um so feuchter, je reicher sie an Thon, um so trockener, je reicher sie an Quarzsand ist, und die in feuchten Gegenden vorkommende saure Dammerde verdankt ihr Eigenthümliches dem Gehalte an freier Essigsäure und Phosphorsäure [1]. *G.*

Dampf.

Dunst; *Vapor*; Vapeur; *Vapour*, *Steam*. Unter *Dampf* versteht man *jede elastische oder expansibele Flüssigkeit*, welche durch den Einfluſs der Wärme auf tropfbar flüssige oder feste Körper aus diesen gebildet ist, und ihre expansibel flüssige Beschaffenheit nur so lange vollständig und ohne Ausscheidung eines Theiles derselben in tropfbar flüssiger oder fester Gestalt beibehält, als die Temperatur nicht abnimmt oder der Raum, in welcher sie eingeschlossen ist, nicht vermindert wird. Einige, z. B. Fischer [2] wollen diese Substanzen mit dem Namen *Dunst* belegen, allein hierunter versteht man solchen Dampf, welcher seine Expansion zum Theil schon verloren hat, und mit sehr feinen tropfbar flüssigen oder festen Theilchen gemengt nicht mehr vollkommen durchsichtig ist, wie sich z. B. beim Nebel, über siedendem Wasser, rauchender Salpetersäure oder der wäſsrigen fluſssauren Boraxsäure, den verbren-

---

1 Ueber das Weitere ist vorzüglich zu vergleichen: *Theod. v. Saussüre* in Gehlen N. Journ. f. Chemie IV. 684. *Einhof* ebend. VI. 381. und *Schübler* in Schweigger Journal XIX. 454. XXI. 189. XXXVII. 37. und XXXVIII. 141.

2 Theorie u. Kritik der Verdunstungslehre. Berl. 1810. p. 7. Anm.

nenden Metallen u. s. w.[1] zeigt. Weil die Wasserdämpfe, eben wie die aus andern Flüssigkeiten gebildeten Dämpfe, durch Entziehung der Temperatur nicht mehr ihre der Luft gleiche Durchsichtigkeit behalten, sondern zum Theil in tropfbare Flüssigkeiten verwandelt werden, so hat man der Unterscheidung wegen *Gasarten* die unter jedem Drucke und bei jeder Temperatur, also *permanent elastischen* Flüssigkeiten genannt, *Dämpfe* dagegen solche, welche durch Entziehung der Wärme oder Verminderung des Volumens ihre Expansion verlieren. Dieser Unterschied scheint aber gegenwärtig unstatthaft. Faraday[2] hat nämlich durch sinnreiche Versuche gefunden, daſs verschiedene bisher für permanent elastisch gehaltene Gasarten, als Chlor, schwefelsaures Gas, Schwefelwasserstoffgas, salzsaures Gas, Kohlensäure, Ammoniakgas, Salpetergas und Cyanogen durch starken Druck bei mittlerer Temperatur tropfbar flüssig werden, und es ist daher fraglich, ob nicht auch die übrigen Gasarten, namentlich Sauerstoffgas, Wasserstoffgas und Stickgas, welche bis jetzt noch nicht tropfbar flüssig gemacht sind, bei stärkerer Compression diese nämliche Veränderung erleiden werden, wodurch dieser Unterschied der *permanenten Gasform* gänzlich wegfallen würde. Gleich interessant sind ähnliche Versuche von Cagniard de la Tour[3], wonach verschiedene Flüssigkeiten durch die vereinte Wirkung eines starken Druckes und vermehrte Wärme ohne bedeutende Vergröſserung ihres Volumens völlig expandirt werden. Der Apparat, dessen er sich hierzu bediente, besteht aus einer krummgebogenen, an einer Seite etwas erweiterten, an beiden Seiten zugeschmolzenen Glasröhre. In dem etwas weiteren Schenkel befindet sich zwischen E F die zu untersuchende Flüssigkeit, zwischen F D und B das sperrende Quecksilber, von B bis A aber Luft, deren Compression dazu dient, nach dem Mariotteschen Gesetze die Stärke des Druckes zu bestimmen; die Erhitzung geschah in Leinöl, dessen Temperatur durch ein Thermometer gemessen wurde. Ein genaues Caliber der gebrauch-

Fig. 100.

1 S. *Dunst.*

2 Ann. C. P. XXIV. 396. u. 403. Vergl. Journ. of Sc. Lit. and Arts. N. XXXII. 229. Daraus in Schweigg. J. N. R. XIII. 210.

3 Ann. C. P. XXI. 178.

ten Röhre ist hierbei eine nothwendige Bedingung. Vermittelst dieses Apparates fand er, daſs *Schwefeläther* bei einer Ausdehnung von weniger als dem Doppelten seines ursprünglichen Volumens, mit einem Drucke von 37 bis 38 Atmosphären und durch eine Temperatur von 200° C.; *Alkohol* bei einer Ausdehnung von etwas weniger als dem Dreifachen seines ursprünglichen Volumens mit einem Drucke von 119 Atmosphären und durch eine Temperatur von 259° C.; *Wasser* endlich, welches das Glas auflösete, und daher nicht genau untersucht werden konnte, bei einer Ausdehnung von nahe dem Vierfachen seines Volumens und in der Hitze des schmelzenden Zinkes (274° R. nach Daniell) expandirt wurden [1].

Inzwischen ist hierdurch der Unterschied zwischen *Dämpfen* und *Gasarten* doch keineswegs aufgehoben, und läſst sich ganz einfach so ausdrücken: die *Gase folgen dem Mariotteschen Gesetze, die Dämpfe nicht;* wobei dann zugleich berücksichtigt werden muſs, daſs auch dieses Gesetz erweislich nicht in absoluter Ausdehnung anwendbar ist, bei den verschiedenen Gasarten aber leicht in einem ungleichem Umfange anwendbar seyn mag. Um diesen Satz anschaulich zu machen und seine Richtigkeit einzusehen, denke man sich ein Gefäſs von gegebenem Inhalte, etwa einen Cylinder, mit Gas gefüllt. Es werde dieses durch einen hineingetriebenen Embolus auf die Hälfte zusammengepreſst; so wird ohne Aenderung der Temperatur die Elasticität und Dichtigkeit desselben doppelt seyn. Befände sich in demselben Cylinder aber Dampf statt Gas, so wird unter gleichen Bedingungen sowohl die Elasticität als auch die Dichtigkeit *unverändert* bleiben, die Hälfte des Dampfes aber in tropfbare Flüssigkeit verwandelt werden [2]. Es werde ferner in dem angenommenen verschlossenen Gefäſse die Gasart

---

1 Es scheint mir sehr unglaublich, daſs Glas, an der Lampe aus Röhren geblasen, diese Versuche auszuhalten vermöge, auch stimmen die angegebenen Temperaturen und die ihnen zugehörigen Elasticitäten der Dämpfe nicht mit andern genauen Beobachtungen überein. Auf die beträchtliche Elasticität des Glases ist auſserdem nicht Rücksicht genommen. Vergl. *Elasticität.*

2 Eine hiermit zusammenhängende Betrachtung S. unter Nr. 2 gegen das Ende.

und in einem andern der Dampf um n Grade des Thermometers erwärmt, so wird zwar, ein gleiches Gesetz der Ausdehnung beider Expansibilien vorausgesetzt [1], die Elasticität beider bei unveränderter Dichtigkeit auf gleiche Weise zunehmen, der *Dampf* aber wird aufhören, die der Temperatur zugehörige Dichtigkeit zu haben. Würde dagegen unter abermals gleichen Bedingungen die Temperatur beider Gefäfse um n Grade vermindert, so wird die Elasticität des Wasserdampfes mehr als die des Gases abnehmen, weil ein Theil desselben tropfbar flüssig ausgeschieden wird. Aus allem diesem geht also ein wesentlicher Unterschied zwischen *Gas* und *Dampf* deutlich hervor, ohne dafs damit zugleich bestimmt ist, bis wie weit die Anwendung des Mariotteschen Gesetzes für die verschiedenen Gasarten zulässig seyn mag.

Hierdurch ist also der Unterschied zwischen Gasarten und Dämpfen bestimmt angegeben, und man darf einfach denselben in der Art festsetzen, wenn man sagt: *Gasarten*, *Gase* sind *solche expansibele Flüssigkeiten*, *welche dem Mariotteschen Gesetze folgen*, ohne Rücksicht darauf, wie weit dasselbe gültig seyn mag; *Dämpfe* dagegen *solche*, *auf welche jenes Gesetz nicht anwendbar ist;* oder was auf das Nämliche hinausläuft: *Gase* sind diejenigen Expansibilien, *deren Elasticität und Dichtigkeit im zusammengesetzten Verhältnisse der Temperatur und des äufseren Druckes steht*, *Dämpfe* dagegen solche, *deren Dichtigkeit und Elasticität eine Function der Temperatur allein ist.*

Um indefs dieses richtig zu verstehen, mufs man zugleich Folgendes wohl berücksichtigen, welches gleichfalls dazu dient, den Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen bestimmter hervorzuheben. Es ist nämlich bei den Dämpfen sehr wesentlich zu bestimmen, ob sie im *Zustande der Sättigung*, im *Maximo der Dichtigkeit* vorhanden sind, oder sich *unter* diesem *Zustande der Sättigung*, *unter dem Maximo ihrer Dichtigkeit* befinden, eine Unterscheidung, welche eben dem Mariotteschen Gesetze gemäfs bei den Gasen überall nicht vorhanden ist.

---

1 S. *Ausdehnung* I. 631.

Unter dem Ersteren versteht man diejenige Beschaffenheit derselben, *wenn in einem gegebenen Raume so viel Flüssigkeit in Dampfform vorhanden ist, als nach den unten zu bestimmenden Gesetzen ihrer Dichtigkeit bei einer bestimmten Temperatur darin enthalten seyn kann.* Auf diese Weise erscheinen sie dann, wenn zur fortgehenden Dampfbildung unausgesetzt eine hinlängliche Menge Flüssigkeit gegenwärtig ist, der Procefs der Verdampfung lange genug gedauert hat, und der gebildete Dampf nicht auf irgend eine Weise absorbirt oder weggeführt wurde. Ohne diese Bedingungen ist der Dampf häufig in einem Zustande *nicht völliger Sättigung* vorhanden, namentlich z. B. der Wasserdampf in der atmosphärischen Luft, welcher nur selten, z. B. bei regnerischer Witterung oder bei dem zuweilen eintretenden sehr feuchten Zustande der Atmosphäre im Zustande der Sättigung, sonst aber in der Regel unter diesem Puncte sich befindet. Weil indefs die Dämpfe nur im Zustande der Sättigung allgemeine Bestimmungen zulassen; so wird bei den folgenden Untersuchungen dieser allezeit vorausgesetzt.

Dafs der Dampf gänzlich den aërostatischen Gesetzen folge, mithin rücksichtlich seines Verhaltens den expansibelen Flüssigkeiten mit Recht beigezählt werde, hat Howitz [1] an folgender Erscheinung wahrgenommen. Befindet sich im Gefäfse A Wasser oder eine sonstige verdampfbare Flüssigkeit, aus welcher durch eine untergesetzte Lampe Dampf entwickelt wird, und erhöhet man beim Sieden derselben die ausgehenden Röhren a und b durch aufgesteckte Stücke abwechselnd bald die eine bald die andere, so wird allezeit der Dampf, als die leichtere Flüssigkeit aus der höchsten Mündung entweichen, in die andere aber zugleich die atmosphärische Luft eindringen. Fig. 101.

Man hält sehr allgemein die Dämpfe für eine Verbindung der verdampfenden Körper und des Wärmestoffes, weil derselbe in so viel gröfserer Menge gebildet wird, je gröfser die Summe des verbrauchten Wärmestoffes ist, und letzterer aus den meisten Dämpfen in gleichem quantitativen Verhältnisse wieder erhalten wird, als zur Bildung derselben verwandt wurde. Man könnte hiernach die Dämpfe als chemische Verbindungen

1 Schweigg. J. N. F. XI. 295.

der verschiedenen Substanzen mit dem Wärmestoffe ansehen, stände dieser Ansicht nicht entgegen, dafs der schon gebildete Dampf Wärme, und zwar in jedem quantitativen Verhältnisse annimmt, und dadurch ohne Vermehrung der Menge des verdampften Körpers in einen gröfseren Raum ausgedehnt wird. Ziemlich allgemein bekennen sich gegenwärtig die Physiker zu der von J. T. Mayer, Dalton und La Place aufgestellten Hypothese, wonach die Dämpfe, eben wie die Gasarten aus den Molecülen der expandirten Körper bestehen, jedes mit einer Wärmeatmosphäre umgeben, welche die Ursache der Expansion ist [1]. Wenn aber hiernach, mit Rücksicht auf die oben angestellten Betrachtungen, ein eigentlich *wesentlicher* Unterschied zwischen Dämpfen und permanenten Gasarten nicht statthaft scheint [2], so mufs man annehmen, dafs in sehr verschiedenen Abstufungen die Affinität der expandirten Molecülen zum Wärmestoffe verschieden sey, so dafs einige denselben leichter, andere schwerer abgeben, desgleichen würde aus der sehr ungleichen Dichtigkeit und respectiven Wärmecapacität der verschiedenen Dämpfe folgen, dafs die Molecülen einiger expansibeler Flüssigkeiten ungleich gröfser sind, als anderer und dafs zugleich ihre Wärmeatmosphären sehr ungleiche Durchmesser haben. Döbereiner [3] folgert den ersteren Satz aus seinen Beobachtungen, wonach *Wasserstoffgas* aus gesprungenen Campanen, worin es gesperrt gehalten wurde, entwich, während die nämlichen Risse *andere Gasarten* nicht durchliefsen, welches auf kleinere Mischungsgewichte (Atome) des Wasserstoffes schliefsen läfst. Soll La Place's eben erwähnte Hypothese hiermit in Uebereinstimmung gebracht werden, so würde folgen, dafs die gröfsten oder auch schwersten Mischungsgewichte der Körper, wie namentlich der Metalle, die

---

1 Vergl. Th. I. 497.

2 Robison Mech. Phil. II. 21. nimmt einen Unterschied in der chemischen Beschaffenheit der Gasarten und Dämpfe an, nämlich in der Art der Verbindung der Wärme mit der Basis, weswegen Dämpfe durch blofse Entziehung der Wärme niedergeschlagen würden, Gasarten aber nicht.

3 Die neuesten und wichtigsten physikalisch-chemischen Entdeckungen. Jena 1823. 4. p. 15.

gröfsten Wärmeatmosphären besitzen, deren stärkere gegenseitige Repulsionen bei geringerer Anziehung zu den Molecülen der Basis diese letzteren selbst weiter von einander entfernen und daher die mindest dichten Dämpfe bilden, welches vollkommen mit der Erfahrung übereinstimmt, während ihre geringeren Elasticitäten wegen der Abstofsungen der minder dicht angehäuften Wärmetheilchen unter einander einem äufsern Drucke einen kleineren Widerstand entgegensetzen. PARROT [1] endlich ist geneigt, verschiedene Arten von Wasserdampf, einen *physischen*, einen *chemischen* und einen *Bläschendampf* (vapeur physique, chimique et vésiculaire) anzunehmen, allein die Natur bietet uns keine Erscheinungen dar, welche einen solchen Unterschied anzunehmen nöthigen.

Die Gasarten nebst den Dämpfen als eine Verbindung der Wärme mit wägbaren Grundlagen anzusehen, ist keine neue Vorstellung, sondern schon LAVOISIER [2] hat dieselbe gehabt, und nachher sind SAUSSÜRE [3], DE LÜC u. a. dieser Ansicht beigetreten. Am ausführlichsten hat sich DE LÜC hierüber erklärt, und namentlich das Feuer oder den Wärmestoff das fluidum deferens (fluide déferant) genannt, welches die Theilchen der expandirten Flüssigkeit aus einander halten, und das verschiedene Verhalten der Dämpfe, nebst den Veränderungen, welche sie zeigen, bedingen soll [4]. Uebrigens werden alle bekannte Flüssigkeiten durch den Einfluss der Wärme in Dämpfe verwandelt, und da es gegenwärtig wohl gar keinen Körper mehr giebt, welcher nicht durch die höchsten Grade der Hitze in Dampf oder Gas verwandelt werden könnte, so lassen sich diesemnach auch alle als mehr oder minder verdampfbar ansehen. Manche Substanzen, namentlich thierische und vegetabilische Stoffe werden früher in ihre Bestandtheile zerlegt, als sie schmelzen und also auch sieden, daher aus ihnen Gasarten und nicht Dämpfe entstehen. Von den Metallen hat das Queck-

---

1 Voigt Mag. III. 1. G. X. 167. Entretiens sur la Physique. IV. 264. Vergl. Boeckmann bei G. XI. 66.

2 Mém. de Par. 1777.

3 Essay sur l'Hygrom. Ess. III. ch. 1.

4 W. A. E. Lampadius kurze Darstellung der vorzüglichsten Theorien des Feuers u. s. w. Gött. 1793. 8. p. 51. Vergl. Gren. J. VIII. 143.

der Dampf dem Kühlwasser einer Destillirblase mittheilte, woraus aber nur 430° C. gefunden wurden. Nachher stellte Watt drei Reihen von Versuchen an, 1765, 1781 und 1783, und fand aus der zweiten die latente im Mittel = 530° C., aus der letzten aber 560° C., wonach ihm das Resultat der ersten = 666° C. als irrig erscheinen mufste [1]. Watt befolgte bei diesen Versuchen diejenigen Methoden, durch welche andere Physiker nachher ähnliche Resultate erhalten haben, und welche in der Hauptsache folgende sind.

Fig. 102. 1. Eine kupferne Retorte A mit einem Hahne a wird mit einer gewogenen Quantität Wasser gefüllt, und über der Kohlenpfanne B bis zum Sieden erhitzt, dann die Spitze vermittelst eines festschliefsenden Korkes in den Hals b der mit einer gemessenen Quantität Eis gefüllten Vorlage C gesteckt und der Hahn geöffnet, bis eine gewisse Quantität Eis geschmolzen ist, worauf man den Hahn wieder schliefst. Die Quantität des verdampften Wassers aus dem Gewichtsverluste der Dampfkugel und der Gewichtsvermehrung der Vorlage bestimmt, dann aber hieraus und aus der Quantität des geschmolzenen Eises die latente Wärme des Dampfes berechnet. Soll dieser Versuch genaue Resultate geben, so mufs er bei 0° äufserer Temperatur angestellt, oder die Vorlage mit Eis umgeben werden, damit nicht durch die Einwirkung der von Aufsen eindringenden Wärme eine Quantität Eis schmelze. Nach G. G. Schmidt [2] schmelzt der siedend heifse Dampf auf diese Weise 5, 4 mal so viel Eis als das siedende Wasser, und seine latente Wärme ist daher 540° C.

2. Statt einer Vorlage mit Eis kann man auch eine Vorlage mit Wasser nehmen, und die latente Wärme aus der Vermehrung seiner Temperatur nach dem *Richmannschen Gesetze*

---

1 Watt bei Robison a. a. O. II. 10. Nach Ure Dict. of Chemistry Art. Caloric erzählte Watt kurz vor seinem Tode, dafs er sich anfangs blofser Apotheker-Phiolen bedient, und damit die Ausdehnung des Dampfes = 1728 fach gefunden habe, desgleichen dafs ein Kubikzoll Dampf sechs Kub. Z. Wasser von der gewöhnlichen Temperatur bis zur Siedehitze erwärme.

2 Naturl. I. 294. aus seinen ausführlichen Versuchen bei Gren N. J. IV. 312.

bestimmen. DESPRETZ [1] beschreibt diesen Apparat genau. Man füllt eine gläserne Retorte A B mit einer gewogenen Quantität Wasser, erhitzt sie allmälig, und fängt den Dampf in der Vorlage H K auf, misst vor und nach der Verdampfung die Temperatur des Wassers in der Vorlage, und bestimmt aus der Vermehrung die latente Hitze des Dampfes. Nach PARROT [2] soll auf diese Weise die latente Wärme des Dampfes = 524° C. gefunden seyn, nach KLAPROTH und WOLF [3] = 583°. RUMFORD wandte zu gleichem Zwecke seinen Calorimeter an [4], liefs den Dampf in das zur Abkühlung bestimmte Rohr aufsteigen, und fand aus zwei Reihen von Versuchen im Mittel [5] die latente Wärme des Dampfes = 567°,195 C. URE [6] vereinfachte diesen Apparat sehr, indem er eine kleine Retorte mit kurzem Halse anwandte, aus dieser eine geringe Quantität der zu untersuchenden Flüssigkeit vermittelst einer argandschen Lampe in eine Kugel von dünnem Glase destillirte, welche mit Wasser umgeben war, und dann aus der dem Wasser mitgetheilten Wärme die latente Hitze des Dampfes berechnete. Hauptsächlich glaubt er durch die Kleinheit der gebrauchten Gefäfse, die Schnelligkeit der Operation, und auch dadurch genaue Resultate erhalten zu haben, dafs er das Wasser des Gefäfses etwas kälter nahm, als die umgebende Luft, und dann dasselbe nur so weit durch die niedergeschlagenen Dämpfe erwärmte, dafs die äufsere Umgebung das Mittel zwischen der anfänglichen geringeren und der nachherigen höheren Wärme desselben hielt, um hierdurch jeden äufseren Einflufs auszuschliefsen. Auf diese Weise fand er die latente Wärme des Wasserdampfes = 537°,2 C. Etwas zusammengesetzter, aber nicht minder brauchbar ist derjenige Apparat, dessen sich DESPRETZ bediente [7], und mit welchem er seine neuesten Versuche in etwas gröfseren Mafsstabe anstellte. Dieser besteht aus einem Gefä-

Fig. 108

1 Traité élémentaire de Physique. Par. 1825. p. 95.
2 Theor. Phys. II. 54.
3 Chem. Wört. I. 640.
4 Vergl. *Calorimeter*.
5 Biot Traité. IV. 712.
6 Phil. Tr. 1818. II. p. 386.
7 Traité. I. 95.

Fig. 104. fse A B, worin das Wasser zum Sieden gebracht wird, einem Fortleitungsrohre E F in die aus dünnem Kupfer gemachte Schlange C D, welche sich in einem kupfernen Gefäfse von bekanntem Gewichte befindet, und aus dem Kühlwasser in dem letzteren. Um den directen Einflufs der Hitze auf das Gefäfs zu vermeiden, wird ein Schirm von Holz n m dazwischen gesetzt, und die Oeffnung O dient dazu, die vorhandene Luft entweichen zu lassen. Soll hiermit die latente Wärme des Dampfes gefunden werden, so versteht sich, dafs alle Theile dem Gewichte nach genau bekannt seyn müssen. Sind dann m und T die Masse und Temperatur des Dampfes, M und t des Kühlwassers mit Einschlufs des Gefäfses, T′ die Temperatur der Mischung nach dem Versuche und X die latente Wärme der Einheit des Wasserdampfes, so wird die letztere aus der Gleichung

$$m\,(T - T') + m\,X = M\,(T' - t)$$

gefunden, nämlich

$$X = \frac{M\,(T' - t) - m\,(T - T')}{m},$$

wobei aber wohl zu berücksichtigen ist, dafs das Kupfer der Schlange und des Kühlgefäfses nach seiner respectiven Wärmecapacität auf Wasser reducirt werden mufs. Es war z. B. in einem Versuche M = 15956,3 Grammes, das Kupfer des Gefäfses 3107,3 Gr., welches nach seiner spec. Wärmecapacität = 0,095 auf Wasser reducirt 294,88 Gr. beträgt, so dafs also M = 16251,18 betrug; m war 204,8 Gr., T = 100°; t = 22° und T′ = 29°, 58, woraus X = 530°, 9 gefunden wurde. Despretz fand aus zwei Reihen von Versuchen 531° und 540° C. als latente Wärme des Dampfes von 100° C. Sonst noch bekannte Bestimmungen sind von Lavoisier und La Place [1] vermittelst ihres Calorimeters zu 555° C., von Gay-Lüssac, Clément und Desormes [2], nach ihren Versuchen zu 532°, sie glauben aber diese Gröfse bis 550° erhöhen zu müssen, von Southern [3] im Mittel aus drei Versuchen zu 530°,2, oder mit

1 Ure a. a. O. p. 387.

2 Despretz Traité p. 101. L. J. Thénard Traité de Chimie. Par. 1824. I. 81.

3 Robison Mech. Phil. II, 164.

Weglassung des einen, anscheinend ein zu kleines Resultat gebenden Versuches, zu 538° C.

Die hier mitgetheilten Resultate weichen in der That weniger von einander ab, als die Schwierigkeit der Experimente erwarten läfst. Indem nun insbesondere die von Ure und Despretz gefundenen Bestimmungen das meiste Zutrauen verdienen, so können wir hiernach unbedenklich die latente Wärme des siedend heifsen Wasserdampfes in runder Zahl zu 540° C. annehmen, d. h. eine gegebene Menge siedendheifser Wasserdampf würde hinreichen, um 5,4 gleiche Mengen Wasser vom Nullpuncte zur Siedehitze zu bringen, oder würde 540 gleiche Mengen um 1° C. zu erwärmen vermögen [1].

Ueber die Dämpfe anderer tropfbarer Flüssigkeiten sind ungleich wenigere Versuche vorhanden. Hierhin gehört eine allgemeine Angabe von Gay-Lüssac [2], wonach in Gemäfsheit seiner Untersuchungen über die Dämpfe die latente Wärme des Dampfes von *Wasser*, *Alkohol* und *Terpentinspiritus* sich wie 1 : 0,435 : 0,226 verhalten soll, welches durch Substitution der oben für Wasserdampf angenommenen Bestimmung für Alkoholdampf 235°, 44 und für den Dampf von Terpentinspiritus 127°, 04 C. giebt. Ungleich umfassender, und grofses Zutrauen verdienend sind die Bestimmungen von Ure [3], welcher durch seine oben beschriebenen Versuche die latente Wärme der Dämpfe von folgenden Flüssigkeiten bestimmte.

Wasser	537°,22
Alkohol (sp. Gew. des Alk. = 0,825)	245,56
Schwefeläther (Siedepunct = 44°,44)	168,00
Terpentinspiritus	98,82
Petroleum	98,82
Salpetersäure (sp. Gew. = 1,494 Siedep. = 73°,89)	296,66
Flüss. Ammoniak (sp. Gew. 0,978)	465,15
Essigsäure (sp. Gew. 1,007)	486,11

1 Die Bestimmungen von Sharpe und Thomson S. unten.

2 Ann. de Chim. LXXX. 218. Daraus in G. XLV. 333.

3 a. a. O. p. 389.

Auch Despretz untersuchte aufser dem Wasserdampfe noch die Dämpfe von *Alkohol*, *Schwefeläther* und *Terpentinspiritus*, sämmtlich vollkommen rein, und fand für dieselben:

Wasser	531,0
Alkohol	331,9
Schwefeläther . . .	174,5
Terpentinspiritus . .	166,2

welche Gröfsen von denen durch Ure gefundenen bedeutend abweichen, und da sie sämmtlich um ein Merkliches gröfser sind, vorzüglich die für Alkohol und Terpentinessenz gefundenen, so könnte man hieraus schliefsen, dafs diese Flüssigkeiten vielleicht Wasser enthielten, wenn nicht ihre Reinheit ausdrücklich versichert würde, anstatt dafs Ure zugesteht, der von ihm gebrauchte Aether habe etwas Alkohol enthalten, welcher seinen Siedepunct statt 37°,78 auf 44°,44 hinaufrückte, und der Alkohol nach seinem spec. Gew. zu schliefsen etwas Wasser. Beide Gelehrte haben auch versucht, ein allgemeines Gesetz der latenten Wärme der verschiedenen Dampfarten aufzufinden. Im Allgemeinen ergiebt die Uebersicht der mitgetheilten Beobachtungen, dafs die latente Wärme der Dämpfe so viel geringer ist, je dichter sie sind. Aufser den hier genannten Dämpfen zeigt sich dieses auch beim Dampfe von *Schwefelkohlenstoff*, dessen Dichtigkeit = 2,644, noch mehr bei *Jod-Dampf* von 8,61 Dichtigkeit, statt dafs Schwefel schwer verdampft, dessen Dichtigkeit aber nach dem Verhalten der schweflichen Säure und der Schwefelwasserstoffsäure zu schliefsen der Einheit nahe gleich ist [1]. Ob aber dieses Gesetz strenge richtig sey, kann bei dem Unterschiede in den angegebenen Bestimmungen der latenten Wärme vor der Hand nicht ausgemacht werden.

Despretz versuchte ferner, ob man nicht die latente Wärme der Dämpfe ihren Dichtigkeiten beim Siedepuncte umgekehrt proportional setzen könne. Zu diesem Gesetze stimmen allerdings die Dämpfe des Wassers und Terpentinspiritus sehr genau, auch Alkoholdampf giebt eine geringe Abweichung von demselben, eine stärkere der Aetherdampf, wobei zu bemerken ist, dafs die hiernach gefundene latente Wärme allezeit diejenige

1 Despretz a. a. O. 99.

übersteigt, welche die Versuche geben, wonach also die durch Despretz erhaltenen Gröfsen der Wahrheit noch näher kommen müfsten, als die durch Ure, wenn anders die aufgestellte Regel in der Natur gegründet ist. Letzterer hat dagegen ein anderes interessantes, aber schwerlich in der Natur begründetes, Gesetz aufgefunden, nämlich dafs die latenten Wärmen mit den Dichtigkeiten multiplicirt, und die Grade des Siedepunctes addirt, eine constante Gröfse geben. Um dieses zu zeigen, vergleicht er die Dämpfe von Wasser, Schwefeläther und Alkohol. Weil aber der von ihm gebrauchte Aether und Alkohol nicht absolut rein waren, so setzt er die Dichtigkeiten ihres Dampfes, des ersteren von 4 auf 3,55, des letzteren von 2,6 auf 2,3 herab, die des Wasserdampfes = 1 genommen. Nach Graden des Fahrenheitschen Thermometers giebt dieses Gesetz allerdings sehr übereinstimmende Resultate, nämlich für

Wasserdampf giebt $970 \times 1,00 + 212° = 1182$
Aetherdampf — $302 \times 3,55 + 112 = 1184$
Alkoholdampf — $440 \times 2,30 + 175 = 1185$

Minder genau ist die Uebereinstimmung nach Centesimalgraden, nämlich für

Wasserdampf giebt $537,2 \times 1,00 + 100 = 637,2$
Aetherdampf — $168,0 \times 3,55 + 44,44 = 630,8$
Alkoholdampf — $245,56 \times 2,3 + 79,44 = 644,2$

Werden aber die durch Despretz gefundenen Gröfsen nach dieser Formel berechnet, so giebt

Wasserdampf $531 \times 0,623 + 100 = 430,81$
Aetherdampf $174,5 \times 2,586 + 35,5 = 486,76$
Alkoholdampf $331,9 \times 1,613 + 78,7 = 614,05$
Terpentinsp. $166,2 \times 5,010 + 156,8 = 989,46$

welche Gröfsen so abweichend sind, dafs sich nicht hoffen läfst, von dieser Formel Gebrauch zu machen, wenn nicht die in sie aufgenommenen Gröfsen ganz anders bestimmt werden. Sonst würde es sehr bequem seyn, nach dieser Formel entweder die Dichtigkeiten oder die latente Wärme der Dämpfe zu berechnen.

Eine Frage von grofser Wichtigkeit, sowohl wissenschaftlich als insbesondere hinsichtlich ihres Einflusses auf die Construction der Dampfmaschinen ist diese, *ob die latente Hitze des Dampfes bei allen Temperaturen die nämliche ist.* Haupt-

sächlich veranlafste das Bestreben, bei den Dampfmaschinen eine gröfsere Wirkung ohne Vermehrung des Brennmaterials zu erhalten, zu dieser Untersuchung, welche daher erst in den neueren Zeiten angestellt, und bis jetzt weder durch theoretische Betrachtungen noch durch Versuche zur bestimmten Entscheidung geführt ist. Der erste, welcher hierüber Versuche anstellte, war SOUTHERN in Verbindung mit W. CRIGHTON [1]. Sie liefsen aus einem Stiefel von bekanntem Inhalte eine bestimmte Menge Dampf von ungleicher Temperatur durch ein kupfernes Rohr in eine hölzerne Wanne mit Wasser treten, und bestimmten die latente Wärme aus der Erhöhung der Temperatur des Wassers. Die Elasticität des Dampfes in drei Versuchen war 40, 80 und 120 engl. Zoll Quecksilberhöhe, und die latenten Wärmen wurden = 523,4, 523,4 und 528° C. gefunden. Indem nun der Dampf von der Hitze des siedenden Wassers im Mittel aus drei Versuchen dieser nämlichen Beobachter 530,62 C. gab, so würde hieraus folgen, dafs mit Vernachlässigung der kleinen Differenzen die latente Wärme des Dampfes in allen Temperaturen gleich sey. Auch DESPRETZ [2] glaubt aus den Versuchen von CLÉMENT und DESORMES und aus seinen eigenen mit *Wasser*, *Aether*, *Alkohol* und *Terpentinspiritus* angestellten folgern zu müssen, dafs die in jeder Art Dampf enthaltene Menge Wärme eine beständige Gröfse sey, so dafs also die aus Dampf von 100° C. und bei 0,^{m}76 erhaltene latente Wärme = 540° C. bei Dampf von jedem Drucke und jeder Temperatur die nämliche seyn würde. DESPRETZ gesteht, dafs er die Versuche zwar mit gröfster Sorgfalt angestellt habe, aber dennoch die ungemein grofsen Schwierigkeiten, welche der Erhaltung völlig genauer Resultate entgegenstehen, nicht alle überwunden zu haben hoffen dürfe, welches man ihm gern glauben wird, wenn man mit dieser Sache vertraut ist.

Wie geringe übrigens auch die Zahl der Versuche seyn mag, welche zur Entscheidung dieser wichtigen Frage angestellt wurden, so stimmen doch *alle* in dem erhaltenen Resultate zusammen. THOMSON [3] erwähnt die schon 1813 bekannt

---

1 Robison Mech. Phil. II. 160 ff.
2 Traité p. 100.
3 Ann. of Phil. N. Ser. III. 302.

gemachten Versuche eines gewissen JOHN SHARPE, aus welchen folgt 1. dafs einer gegebenen Menge Wassers durch gleiche Mittel der Erwärmung in gleichen Zeiten gleiche Erhöhungen der Temperatur mitgetheilt werden, man mag ausgehen, von welchem Puncte der Wärme desselben man wolle, so dafs also eine Erhitzung desselben von 40° bis 50° F. in der nämlichen Zeit erfolgen würde, als von 260° bis 270° F., keinen Dampfverlust vorausgesetzt, 2. dafs gleiche Gewichte Dampf, von jeder beliebigen Temperatur eine gleiche Menge Wassers um gleiche Grade erwärmen [1]. Beide Sätze sagen eigentlich das Nämliche, nämlich die latente Wärme des Dampfes ist bei allen Temperaturen eine constante Gröfse, wie schon CLÉMENT und DESORMES, insbesondere SOUTHERN und auch DESPRETZ gefunden haben [2]. Dafs der letztere scharfsinnige Physiker die Wahrheit dieses in der Lehre von den Dämpfen höchst wichtigen Satzes, der übereinstimmenden Resultate aller genauen Versuche ungeachtet mit Gewissheit auszusprechen noch einiges Bedenken trägt, liegt vielleicht in der Rücksicht auf eine Folgerung, welche zwar nicht er selbst, wohl aber WOLLASTON [3] daraus abgeleitet hat. Die Dämpfe haben aufser ihrer latenten Wärme noch eine in höheren Temperaturen zunehmende sensibele, nämlich diejenige thermometrisch messbare, welche ihnen bei gröfseren Elasticitäten und Dichtigkeiten eigen ist. Beide zusammengenommen geben diejenige Wärme, wodurch gleiche Quantitäten Wasser in den angestellten Versuchen auf gleiche Grade erwärmt wurden, und die Summe beider ist also die gefundene constante Gröfse der den Dämpfen zugehörigen Wärme. THOMSON setzt hierfür nach den Versuchen von SHARPE 1196° F. oder 682,2 C. Nehmen wir dagegen die oben gefundene Gröfse = 640° C., so ist die Summe der latenten und der sensibelen Wärme bei 0° C. = 640°, bei 100° = 540 + 100; bei 200° = 440 + 200 u. s. w., mithin ist die latente Wärme der Dämpfe bei 640° C. = 0. Letzteres ist nur

---

1 Aus Manchester Mem. 1813.

2 Letzterer drückt diesen Satz so aus: Ainsi le nombre 640, obtenu sous la pression 0m, 76 et à 100°, serait encore le même à une pression et à une température quelconque.

3 Ann. of Phil. N. Ser. III. 303.

unter der Bedingung möglich, wenn *bei dieser Temperatur die Dämpfe aufhören, die Dampfform zu haben, und bloſs stark ausgedehntes Wasser sind.* Um zu finden, ob dieses wirklich sich so verhalte, wie nicht unwahrscheinlich ist, wenn man berücksichtigt, daſs Daniell die Rothglühhitze bei Tage auf 589° C. setzt, müſste von der einen Seite die Dichtigkeit des Wasserdampfes bei dieser Temperatur, und auf der andern zugleich die Ausdehnung des Wasser gefunden werden. Daſs die erstere mindestens mit groſser Wahrscheinlichkeit bestimmt werden könne, wird sich aus den folgenden Untersuchungen ergeben [1], wonach die Dichtigkeit des Wasserdampfes bei 640° C. oder 512° R. = 0,2183 ist, die des Wassers im Maximo seiner Dichtigkeit = 1 gesetzt, und dieses müſste dann die Dichtigkeit des Wassers bei der angegebenen Temperatur seyn. Letztere zu berechnen reicht die für die Ausdehnung des Wassers gegebene Formel [2] deswegen nicht aus, weil darin die aus den Beobachtungen unbestimmbaren höheren Potenzen von t fehlen, welche für so hohe Temperaturen nicht fehlen dürfen. Hierzu kommt auſserdem, daſs mit diesen Temperaturen der Druck der Dämpfe stets wächst und namentlich für die angegebene von 640° C. nach den nachfolgenden Bestimmungen schon 882 Atmosphären betragen würde. Nehmen wir indeſs einmal an, daſs die Dichtigkeit des Wassers so abnimmt, daſs die dritten Differenzen constant werden, so finde ich die Dichtigkeit des Wassers unter dieser allerdings sehr hypothetischen Voraussetzung bei 640° C. = 0,2579039, welches jener Gröſse allerdings so nahe kommt, als bei solchen unsicheren Elementen zu erwarten ist, um so mehr wenn man berücksichtigt, daſs alle Ausdehnungen mit den Temperaturen wachsend zunehmen, die bei der Berechnung gebrauchten Gröſsen aber bloſs aus den Messungen von 4°,4 bis 100° C. entnommen sind. Es hat also also allerdings vieles für sich, anzunehmen, daſs Wasser bis 640° C. unter dem erforderlichen Drucke erhitzt, genau diejenige Dichtigkeit erhält, als die Wasserdämpfe bei dieser nämlichen Temperatur haben würden, und daſs es über diesen Hitzegrad hinaus eigentlich keinen Wasserdampf

1 S. *Dichtigkeit des Wasserdampfes.*

2 Th. I. p. 615.

mehr giebt. Aus dem oben aufgestellten Satze folgt übrigens ferner, daſs bei — 640° C. der absolute Nullpunct liegen muſs, denn bei dieser Temperatur ist die absolute Wärme des Wasserdampfes = 640° latente und — 640° sensibele, mithin = 0. Obgleich gegen diese Bestimmung im Allgemeinen vieles eingewandt werden kann[1], so ist dieselbe doch bei den Untersuchungen über das Verhalten der Dämpfe von Wichtigkeit, indem sie eben hieraus entnommen ist.

Ehe wir indeſs den wichtigen Satz, nämlich daſs die Wärme gleicher Quantitäten von Wasserdampf, wie auch die Dichtigkeit desselben seyn mag, zum allgemein gültigen Satze erheben, müssen wir zuvor diejenigen Argumente prüfen, welche ein um die Dampflehre sehr verdienter deutscher Physiker gegen denselben vorgebracht hat. G. G. Schmidt erklärt sich gegen denselben, und zwar aus folgenden drei Gründen[2]:

1. *Es läſst sich eine Temperatur und ein Druck des Dampfes denken, wobei der letztere die Dichtigkeit des Wassers erlangt, und daher unmöglich eine gleiche Wärmecapacität haben kann, als im lockeren* (gasförmigen) *Zustande.* — Dieses Argument ist innerhalb der gehörigen Grenzen durchaus entscheidend. Nothwendig muſs die stets wachsende Dichtigkeit der Dämpfe zuletzt derjenigen des Wassers selbst gleich kommen, und über diese Grenze hinaus kann unmöglich noch das für den Dampf aufgefundene Gesetz gültig seyn. Allein es nöthigt uns nichts, die Gültigkeit desselben bis an diese Grenze anzuerkennen, um so mehr, wenn wir berücksichtigen, daſs die stets neben einander in den Dämpfen vorhandenen, die latente und sensibele Wärme eine constante Gröſse bilden. Ist die erstere = 0, so wird keine Dampfbildung mehr stattfinden, vielmehr alle hinzukommende Wärme sensibel seyn, und zur Ausdehnung des Wassers, worein der Dampf dann verwandelt ist, verwandt werden. Daſs dieser Punct bei 640° oder 650° C. eintreten müsse, folgt aus den vorstehenden Betrachtungen. Dabei ist dann nicht zu übersehen, daſs bei hinlänglich starken Wandungen der Gefäſse die Elasticität des Dampfes durch fort-

1 Vergl. *Wärme*.
2 G. LXXV. 348.

während erhöhete Wärme stets wachsen kann, jedoch nach einem andern Gesetze, das Wasser aber, worein der Dampf dann übergegangen wäre, von der einen Seite zwar durch die vermehrte Wärme stets mehr ausgedehnt, durch den gleichfalls wachsenden Druck aber bei etwa aufs Neue hinzukommenden Mengen stets mehr verdichtet werden mufs. Inzwischen ist es im Allgemeinen gewagt, aus Versuchen, welche verhältnifsmäfsig nur in enge Grenzen eingeschlossen sind, allgemeine Gesetze zu entwickeln, ohne dafs jedoch diese Rücksicht die Gültigkeit des Argumentes im Allgemeinen aufheben kann.

2. *Die Kälte, welche das Verdampfen des Wassers im luftleeren Raume hervorbringt, ist aufserordentlich grofs, und zum Theil wenigstens eine Folge des gebildeten sehr dünnen Dampfes. Die Dichtigkeit des letzteren steigt nach den Temperaturen unter andern von $\frac{1}{90360}$ bis $\frac{1}{82}$ der Dichtigkeit des Wassers und noch weiter zu beiden Seiten. Sollte der Dampf in diesen beiden Zuständen gleiche Wärmecapacität haben?* — Dieses Argument, obgleich sehr scheinbar, läfst sich genügend widerlegen. Indem nämlich der siedendheifse Dampf 5,4 mal so viel Wasser, als er selbst beträgt, um 100° C. zu erwärmen vermag, so mufs auch bei gleichen Wärmecapacitäten der bei t Graden über 0° gebildete $5{,}4 + \frac{t}{100}$, also bei 0° selbst 6,4 mal so viel Wasser, als seine Masse beträgt, um 100° C. zu erwärmen, mithin auch durch seine Bildung eine gleiche Menge um 100° C. oder 100 mal so viel um 1° C. zu erkälten vermögen. Hieraus läfst sich der bekannte Leslie'sche Versuch allerdings erklären, indefs will ich nicht in Abrede stellen, dafs mir bei der Anstellung desselben die Quantität des verdampften Wassers allezeit geringer geschienen hat, als hieraus folgen würde, und verdient das aufgestellte Gesetz auf diesem Wege weiter geprüft zu werden.

3. *Die beobachtete schnelle Erkaltung des Wasserdampfes, welcher in höherer Temperatur gebildet frei wird, führt hierauf.* — Dafs Wasserdampf, bei welcher Temperatur er gebildet wurde, beim Entweichen sogleich auf den Siedepunct herabsinkt, entscheidet sehr für den Satz, dafs die latente Wärme des Dampfes von jeder Elasticität eine constante Gröfse sey, aus Gründen, welche weiter unten ausführlich erörtert werden.

Theoretische Untersuchungen über Dichtigkeit, Elasticität und specifische Wärme der Gasarten überhaupt und auch der Dämpfe hat LA PLACE [1] angestellt, und mit Benutzung ähnlicher als der von diesem aufgestellten Formeln ausführlicher POISSON [2]. Aus beiden folgt, daſs die Quantität der Wärme in den Dämpfen von jeder Temperatur und Elasticität bei gleichen Mengen gleich ist. Um hierbei das Verhältniſs der latenten und sensibelen Wärme genauer einzusehen, müſste man die Sache also auf folgende Weise betrachten. Wäre ein gegebener Raum mit gesättigtem Wasserdampfe von der Temperatur t angefüllt, und dieser Raum würde ohne Verlust von Dampf und Wärme bis zur Hälfte vermindert, so müſste die Elasticität des Dampfes zum Doppelten vermehrt, und dabei durch Compression so viele sensibele Wärme frei werden, als erforderlich ist, um die Temperatur des zur doppelten Dichtigkeit gebrachten Dampfes zur Temperatur $= t'$ zu erheben, welche dem dichteren Dampfe zugehört, und seine stärkere Elasticität bedingt. Würde dagegen der Dampf in den doppelten Raum ausgedehnt, so müſste hierdurch so viel Wärme gebunden werden, daſs seine Temperatur diejenige bliebe, welche seiner dann noch stattfindenden Elasticität zugehört [3]. Es fragt sich nun, in welchem Verhältniſs die Dichtigkeiten, Elasticitäten und Temperaturen des Dampfes zunehmen. Entlehnen wir zuerst aus den nachfolgenden ausführlichen Untersuchungen hierüber [4] die einander zugehörigen Gröſsen, so erhalten wir folgende:

t. nach R.	Dichtigkeiten	Elasticitäten nach Atmosph.
80°,00	1	1,000
98,70	2	2,131
120,78	4	4,559

---

1 Méc. Cél. Lib. XII. p. 139.

2 Ann. C. P. XXIII. 337. Vergl. *Gas.*

3 Diesen von Dalton aufgestellten Satz erläutert MARESTIER Mémoire sur les bateaux à vapeur des États-unis d'Amerique. Par. 1824. 4. p. 221. Vergl. Christian Traité de Mécanique industrielle. Par. 1822 bis 25. III. Vol. 4. II. 201.

4 S. die folgenden Abschitte über *Elasticität* und über *Dichtigkeit* des Wasserdampfes.

t nach R.	Dichtigkeiten	Elasticitäten nach Atmosph.
147,41	8	9,846
180,10	16	21,478
221,15	32	46,616
274,31	64	106,714
345,86	128	244,296
447,22	256	597,910
601,41	512	1429,517
867,73	1024	3800,596

Die Temperaturdifferenzen, welche hiernach den sich stets verdoppelnden Dichtigkeiten zugehören, sind hiernach in Graden der achtzigtheiligen Scale folgende:

t.	$\Delta^1 t$	$\Delta^2 t$	$\Delta^3 t$	$\Delta^4 t$
80,00	18,70	3,38	1,17	0,34
98,70	22,08	4,55	1,51	0,79
120,78	26,63	6,06	2,30	1,45
147,41	32,69	8,36	3,75	2,53
180,10	41,05	12,11	6,28	5,14
221,15	53,16	18,39	11,42	11,60
274,31	71,55	29,81	23,02	36,28
345,86	101,36	52,83	59,30	
447,22	154,19	112,13		
601,41	266,32			
867,73				

Vergleichen wir auf gleiche Weise die Reihe der Elasticitäten, so erhalten wir folgende Differenzen:

E.	$\Delta^1 e$	$\Delta^2 e$	$\Delta^3 e$	$\Delta^4 e$
1,000	1,131	1,297	1,562	1,924
2,131	2,428	2,859	3,486	3,675
4,559	5,287	6,345	7,161	14,293
9,846	11,632	13,506	21,454	21,070
21,478	25,138	34,960	42,524	97,024
46,616	60,098	77,484	139,548	122,413
106,714	137,582	216,032	261,961	1799,518
244,296	353,614	477,993	1061,479	
597,910	831,607	1539,472		
1429,517	2371,079			
3800,596				

Wenn wir einstweilen voraussetzen, dafs die Elasticitäten und Dichtigkeiten des Wasserdampfes in der vorstehenden tabellarischen Uebersicht richtig angegeben sind, so sehen wir, dafs beide zwar nach einem ähnlichen Gesetze wachsen, als die Temperaturen, aber keineswegs genau nach dem nämlichen. Christian [1] stellt ferner den Satz auf, dafs die Temperatur um 22° C. = 17,6 R. wachsen müsse, wenn die Elasticität des Dampfes um eine Atmosphäre vermehrt und seine Dichtigkeit verdoppelt werden solle. In geringer Ausdehnung ist diese Behauptung allerdings nahe richtig, allein sie kann keineswegs für allgemein gültig angesehen werden, wie folgende Zusammenstellung ergiebt:

t	Δt	e	t	Δt	e
80		1,000	135	5	6,9981
97	17	1,9987	140	5	8,0579
109	12	3,0870	144	4	8,9890
117	8	4,0375	148	4	9,9996
124	7	5,0426	152	4	11,0940
130	6	6,0484	155	3	11,9710

Versuche von Southern [2] stimmen gleichfalls keineswegs mit dieser Behauptung Christian's überein, sondern mit der vorstehenden Tabelle, wonach die Erhöhung der Temperaturen für gleiche Vermehrungen der Elasticitäten stets abnimmt. Nach ihm gehören nämlich zu den Temperaturen = 229°, 270°, 295° F., deren Differenzen = 41°, 25° sind, die Elasticitäten = 40 Z., 80 Z. und 120 Z. engl. der Quecksilberhöhen.

Diese Untersuchungen dienen als Vorbereitung zu einer andern, nämlich über die Wärmemenge, welche sensibel werden mufs, wenn Dampf von einem gegebenen Volumen in ein geringeres mit wachsender Dichtigkeit und ohne Ausscheidung eines Antheils desselben in tropfbar flüssiger Gestalt zusammengedrückt wird. Liefsen sich die in der obigen Tabelle enthaltenen Gröfsen als völlig genau ansehen, so würden sie allerdings hinreichen, einen allgemeinen Ausdruck hierfür aufzufinden, wenn es sich anders der Mühe lohnte. Allein für die

---

1 a. a. O.

2 Robison Mech. Phil. II. 160.

praktische Anwendung würde dieses unnütz seyn, indem bei einer wirklichen Compression eine Quantität Wärme durch die Wände des Gefäfses entzogen werden müfste, bei der Ausdehnung in einen gröfseren Raum aber, wie dieses bei den sogenannten Expansionsmaschinen [1] wirklich vorkommt, ist die Hitze der Wandungen allezeit gröfser, als die des expandirten Dampfes. Theoretisch geht soviel hervor, dafs bei der Compression zu einem gleichen Vielfachen der gegebenen Dichtigkeit so viel mehr Wärme frei wird, je dünner der Dampf ist, welches mit der oben aufgestellten Ansicht von der Natur der Dämpfe vollkommen übereinstimmt. Poisson [2] giebt eine Formel, vermittelst welcher bei Gasarten (und auch bei Dämpfen) die durch Compression freiwerdende Wärme gefunden werden kann, nämlich:

$$t' = (266^\circ,67 + t)\left(\frac{\varrho'}{\varrho}\right)^{k-1} - 266^\circ,67$$

worin t' und t die höheren und niederen Temperaturen nach und vor der Compression, ϱ' und ϱ die gröfsere und geringere Dichtigkeit, k den Coefficienten der Ausdehnung der Gasarten durch Wärme, nämlich 1,375 bedeutet, 267°,67 aber nach La Place die Wärme des Raumes bezeichnet. Dafs diese Formel unzureichend sey, fällt in die Augen, indem sie auf die Dichtigkeit, wovon man ausgeht, nicht Rücksicht nimmt, welche doch auf allen Fall von bedeutendem Einflusse ist, gesetzt auch, dafs die in der oben gegebenen Tabelle enthaltenen Gröfsen nicht absolut richtig seyn sollten. Sucht man indefs des Beispiels wegen die durch eine Compression bis zum Doppelten der Dichtigkeit frei werdende Wärme, so erhält man für $\varrho' = 2\varrho$

$$t' - t = 79^\circ,16 + 0,2968\, t$$

welches für t = 100° C. gesetzt t' = 208,68 C. geben würde, ein mit demjenigen, was über das Verhalten der Dämpfe unbestreitbar bekannt ist, durchaus nicht übereinstimmendes Resultat. Ueberhaupt sieht man bald, dafs diese Formel nur für sehr niedere Temperaturen mit der Erfahrung übereinkommende Resul-

---

1 S. *Dampfmaschine*.

2 a. a. O. Vergl. *Gas*.

late geben kann, für mittlere und höhere Temperaturen aber unbrauchbar ist. Indefs wird nach LA PLACE und POISSON mit Recht vorausgesetzt, dafs keine Entweichung der Wärme durch die Wände der Gefäfse statt finde, zugleich aber bringen beide die Wärme des Raumes in Rechnung, deren Daseyn noch keineswegs erwiesen ist. POISSON berechnet selbst aus seiner Formel, dafs eine Compression der Luft (womit übrigens die Dämpfe in diesem ihren Verhalten gleichartig seyn sollen) bis zum Fünffachen der Dichtigkeit 221° C. Wärme ausgeschieden werden, welches zum Zünden des Zündschwammes für hinreichend gehalten wird. Allein weder dieses Leztere dürfte ohne Weiteres als wahr anzusehen seyn, noch auch stimmt das Ganze mit der Erfahrung überein, wonach durch eine fünffache Verdichtung gewifs kein Entzünden erfolgt. Genaue Versuche hierüber grenzen nahe an die Unmöglichkeit, und daher geben auch die wenigen vorhandenen so ungenügende und wenig unter sich übereinstimmende Resultate. ROBISON [1] erzählt, dafs er siedendheifsen Wasserdampf sich in den fünffachen Raum habe ausdehnen lassen, wobei nach einem empfindlichen Luftthermometer die Temperatur vier bis fünfmal so tief herabging, als wenn Luft bei der nämlichen Temperatur eben so weit ausgedehnt wurde. Berechnen wir dieses Resultat nach den bekannten Dichtigkeiten und den ihnen zugehörigen Temperaturen, so gehören zur Dichtigkeit des Dampfes bei der Siedehitze 80° R. und zu einer fünfmal geringeren etwas über 46, der Unterschied beträgt also 34° R. welche sonach bei fünffacher Verdünnung latent werden müfsten. Soll nun die Verminderung der Temperatur bei der Verdünnung der Luft im Mittel 4,5 mal geringer seyn, so gehören dieser nur 7°,56 R. zu, mithin einer bis zum doppelten Volumen 3°,024 R., und eben so viel müfste dann bei der Verdichtung frei werden. Sehr verschieden hiervon ist das Resultat eines Versuches, welcher SOUTHERN [2] anstellte, und welches seiner Meinung nach für genau gelten darf. Die Ausdehnung der Luft in einen im Verhältnifs von 2 : 3 gröfseren Raum gab eine Temperaturverminderung von 19° bis 20° F.,

1 Mech. Phil. II. 20.
2 a. a. O. p. 166.

welches für das Verhältnifs von 1 : 2 eine Verminderung von 26°,66 F. oder 11°,85 R. giebt. Wird siedendheifser Wasserdampf bis zur Hälfte verdünnt, so gehören dieser Dichtigkeit 64° R. zu, mithin müssen 16° R. latent werden, nähme man aber, um genau bei SOUTHERN's Versuche zu bleiben, wonach die Ausdehnung der Luft bei mittlerer Temperatur im Verhältnifs von 2:3 eine Wärmeverminderung von 19°,5 F = 8°,667 R. beträgt, Dampf gleichfalls von mittlerer Temperatur, also von 15° R., und verdünnte diesen im Verhältnifs von 2:3, so würde man solchen erhalten, dessen Dichtigkeit zu 10° R. gehört, und es würden also nur 5° R. gebunden werden. Aus dieser vielfachen Vergleichung folgt augenfällig, dafs zur Aufstellung bestimmter Gesetze hierüber noch keineswegs genügende Thatsachen vorhanden sind.

Mit dieser Untersuchung zusammenhängend ist eine andere, nämlich die Erzeugung von kalten, wenigstens nicht heifsen, Wassertröpfchen aus frei aufsteigendem Dampfe von hoher Elasticität. Diese Erscheinung erfolgt nur dann, wenn ein Gefäfs mit Wasserdampf von hohem Drucke plötzlich geöffnet wird, und ein Theil Dampf entweicht, aus dessen Verdichtung, oder vielmehr weit wahrscheinlicher, aus den mechanisch mit fortgerissenen Wasserpartikelchen die demnächst herabfallenden Tröpfchen dann gebildet werden, welche auf der Haut die Empfindung von Kälte erregen. PERKINS giebt an, dieses Phänomen bei seiner Dampfmaschine beobachtet zu haben, und GILBERT [1] zieht die Thatsache in Zweifel, allein ich selbst habe sie oftmals bei Versuchen mit dem Papinischen Digestor bestätigt gefunden, wenn der sehr elastische Dampf das Ventil aufschlug, und mit grofsem Geräusche entwich [2]. Die Erklärung des Phänomens liegt übrigens sehr nahe. Sind nämlich die herabfallenden kleinen Wassertröpfchen mechanisch fortgerissenes Wasser, so ist in diesem der Procefs der Dampfbildung eingeleitet, und mufs um so viel sicherer eintreten, je mehr der plötzlich ver-

---

1 Ann. LXXV. 124. Der Ausdruck Perkins's, dafs der Dampf von hohem Drucke selbst die Empfindung von Kälte erzeuge, ist wohl nicht ganz richtig, indem diese vielmehr durch die zugleich herabfallenden Wassertröpfchen hervorgebracht wird.

2 Vergl. G. G. Schmidt bei G. LXV. 343.

minderte Druck ihn erleichtert. Wird aber nur eine geringe Quantität Dampf, und noch dazu sehr dünner, hiervon gebildet, so reicht die erforderliche latente Wärme desselben hin, um den Rest des Wassers bis zu einer bedeutend niedrigen Temperatur abzukühlen. Entständen die Wassertröpfchen aus contensirtem Dampfe, so müfste man annehmen, dafs zuerst die sensibele Wärme des Dampfes von hoher Pressung durch die Expansion desselben gebunden würde, dann aber die aus dem zu Wasser condensirten Dampfe entbundene latente Wärme sich zerstreue, und zum Theil durch den während des Fallens und überhaupt während der Bewegung der Tröpfchen gebildeten Dampf gebunden werde. Der hierbei gebildete Dampf nämlich mufs eine der Temperatur der umgebenden Luft proportionale Dichtigkeit erhalten, mithin stark ausgedehnt werden, und kann sonach auf keine Weise wärmer als die umgebende Luft seyn. Aus gleicher Ursache wird ein Theil des aus einem Gefäfse mit siedendem Wasser aufsteigenden Dampfes bei seiner Berührung der äufseren Luft in Dunst verwandelt, und schwebt als solcher über der Oberfläche des Wassers [1], auch steigt ein Thermometer, dessen Kugel man längere Zeit in den Dampfstrom aus der Mündung einer Dampfkugel hält, nicht auf den Siedepunct, obgleich der Dampf unmittelbar bei seinem Austritte aus jener Mündung noch über diesen Punct erhitzt seyn mufs, und stets eine Menge condensirtes Wasser von der Thermometerkugel herabtröpfelt, wobei indefs der entstehende Luftstrom, als Folge der schnellen Bewegung des Dampfes, zugleich berücksichtigt werden mufs. Dafs Dampf von hohem Drucke, wenn er frei wird und gegen ein Thermometer strömt, nie über den Siedepunct heifs seyn könne, wie G. G. Schmidt beobachtet hat [2], ja dafs auch dieser das Thermometer nicht bis zur Siedehitze steigen machen kann, folgt gleichfalls aus dem Gesagten von selbst.

Uebrigens scheint die Erscheinung, dafs ein Theil des Dampfes, von welcher Temperatur er seyn mag, beim Entweichen in die freie Luft niedergeschlagen und als Dunst sichtbar wird, dafür zu entscheiden, dafs die gesammte Wärme im Dampfe von

---

1 Vergl. *Dunst*.
2 G. LXXVI. 350.

hierin ein Hauptgrund der Ersparung von Brennmaterial liege. Ist dieses wirklich der Fall, so muſs der heiſsere Dampf verhältniſsmäſsig weniger Wärme zu seiner Bildung erfordern, folglich auch weniger latente besitzen, als der kältere. Angenommen nämlich es würde Dampf von der Dichtigkeit einer Atmosphäre angewandt, um einen Embolus von der Fläche eines Quadratfuſses durch einen Raum = 1 zu bewegen, und es wäre die hierzu erforderliche Menge desselben = 1, man wendete aber statt dessen Dampf von der Elasticität zweier Atmosphären an, so würde bei gleicher Fläche des Embolus und gleicher Erhebung desselben zwar die doppelte Wirkung erhalten werden, zugleich aber auch die doppelte Menge des in Dampf von doppelter Dichtigkeit verwandelten Wassers, mithin auch der doppelte Aufwand von Brennmaterial erforderlich seyn, sobald die latente Wärme des Dampfes von jedem Drucke eine constante Gröſse, und der Elasticität und Dichtigkeit direct proportional ist. Ohne auf eine detaillirte Entscheidung dieser Frage einzugehen erklärte unter andern Brewster [1], die Erfahrung entscheide bestimmt für die von Perkins angewandten Dämpfe höherer Temperatur. Auſser vielen, auf gleiche Weise das Princip der Perkins'schen Dampfmaschine verwerfenden oder preisenden Aeuſserungen [2] sind mir keine genauen Untersuchungen des Gegenstandes bekannt geworden.

Poisson's oben erwähnte Formeln enthalten auch eine zur Bestimmung der Wärme, welche für Dampf von verschiedener Elasticität erforderlich ist, nämlich

$$V = \frac{h\,v}{0^m,76} \cdot \frac{187^{gr.}\,33}{266,67 + t}\,Q.$$

worin V die erforderliche Wärme, h die Elasticität nach Quecksilberhöhen gemessen, v das Volumen bezeichnet, ein Kubik-Decimeter als Einheit angenommen, Q aber die zur Verwandlung des Wassers in Dampf erforderliche latente Wärme, welche für alle Temperaturen derjenigen nahe gleich ist, wodurch das Wasser von 0° in Dampf von 100° Temperatur verwandelt

1 Edinb. Journ. of Sc. N. I. 146.

2 Vergl. Fresnel in Ferrussac Bulletin, Sc. Math. 1825. Jan. p. 59.

wird, oder 650° C. nach Poisson[1]. Hiernach stände also V im umgekehrten Verhältnisse von 266,67 + t, woraus folgt, dafs die zur Erzeugung des Dampfes von höherer Spannung erforderliche Wärme nicht gleichmäfsig mit den Elasticitäten zunimmt, und also aus der Anwendung des heifseren Dampfes ein Vortheil rücksichtlich des Aufwandes von Brennmaterial erwächst. Dafs aber diese aus theoretischen Sätzen gefolgerten Formeln keine mit der Erfahrung übereinstimmende Resultate geben, ist oben an einem Falle, nämlich der Berechnung der durch Compression frei werdenden Wärme schon gezeigt, und wird sich unten noch weiter ergeben, auch gesteht Poisson selbst ein, dafs der Vortheil, welchen hiernach die Maschinen mit höherem Drucke geben müfsten, bedeutend von demjenigen abweiche, was bisher durch Erfahrung gefunden ist. Indefs führen die Versuche, welche Christian[2] anstellte, um auszumitteln, ob die Anwendung des Dampfes von gröfserer Elasticität vortheilhaft sey, ganz entschieden zu dem Resultate, dafs der Nutzeffect der Dampfmaschinen mit der Spannung des Dampfes wächst, und eben dieses folgt aus den Berechnungen, welche C. Bernoulli[3] in Gemäfsheit der bisherigen Erfahrungen mitgetheilt hat.

Marestier, welcher sich ganz neuerdings mit diesem Gegenstande beschäftigt hat[4], erörtert denselben auf eine für die Dampfmaschinenlehre im Allgemeinen und die Anwendung der sogenannten Expansionsmaschinen[5] sehr entscheidende Weise. Er geht hierbei von einem durch Dalton aufgefundenen Grundsatze aus, dafs die Menge des Wassers, welche während einer gegebenen Zeit verdampft, mit der Temperatur wächst, und der Elasticität des Dampfes bei der ihn erzeugenden Tempera-

---

1 Diese Bestimmung ist nach Clément und Desormes. Oben ist statt dessen 640° C. angenommen, und nachgewiesen, dafs gleiche Quantitäten Dampf von verschiedenster Elasticität gleiche Wärmemengen enthalten.

2 Mécan. Ind. II. 345.

3 Anfangsgründe der Dampfmaschinenlehre. Basel 1824. 8. p. 249.

4 Mémoire sur les bateaux à vapeur des États unis d'Amerique. Par. 1825. 4. p. 221.

5 S. *Dampfmaschinen*.

tur proportional ist. Der erste Theil dieses Satzes ist wohl ohne Zweifel richtig; der zweite aber könnte zu der Folgerung führen, dafs man blofs nöthig habe, das Wasser erst bis zu einer sehr hohen Temperatur zu erhitzen, und dafs es dann gleich viel sey, ob man ein gleiches Volumen Dampf von hoher oder niederer Temperatur erzeuge, eine Folgerung, welche mit dem aus den angegebenen Erfahrungen entnommenen Grundsatze im Widerspruche steht, wonach die latente Wärme des Dampfes von jeder Elasticität eine constante oder mindestens nahe constante Gröfse ist, und wonach also namentlich ein gleiches Volumen Dampf von zehnfacher Dichtigkeit auch zehnmal mehr absolute Wärme enthalten mufs, als von einfacher. Indefs hat Marestier diesen Satz nicht so genommen, sondern er sagt: *zugegeben dafs der Verbrauch von Brennmaterial zehnfach wäre, so würde doch der Dampf dann noch eine zehnfache Spannung haben, und kann sich also* (in Beziehung auf die Expansionsmaschinen) *in einen zehnfachen Raum ausdehnen, bis er die Elasticität einer Atmosphäre annimmt, welche Kraft eben bei den Expansionsmaschinen mit Vortheil benutzt werden kann.* Indefs kommt insbesondere noch Folgendes in Betrachtung, was Marestier's Scharfsinn nicht übersehen hat. Die den Dampfkessel berührende heifse Luft streicht auf allen Fall schnell unter demselben hin, und kommt gleich heifs aus dem Schornsteine, es werde Dampf von niederer oder hoher Temperatur gebildet. Gesetzt sie theilte dem kälteren Wasser in gleichen Zeiten auch mehr Wärme mit, als dem heifseren, welches indefs noch keineswegs erwiesen ist, so findet doch immer eine grofse Differenz zwischen der weifsglühenden Luft (Flamme) und dem Wasser im Kessel auch dann statt, wenn aus letzterem Dämpfe von sehr hohem Drucke erzeugt werden, wobei wegen der Schnelligkeit des Hinströmens dieser heifsen Luft um so viel mehr Wärme verloren wird, je gröfser die Differenz ihrer Hitze beim Entweichen in den Schornstein und des Wassers im Kessel ist [1].

---

1 Wenn Marestier a. a. O. sagt, eine gewisse Quantität Dampf bedürfe stets eine gleiche Menge Wasser zur Condensation, er möge von gröfserer oder geringerer Elasticität seyn; desgleichen: es sey zu seiner Bildung nur so viel Wärme erforderlich, als er selbst dem Con-

Dabei fragt es sich, ob nicht vielleicht PERKINS's Maschine eine Expansionsmaschine von hohem Drucke ist, in welcher der Dampf von seiner anfänglichen Temperatur bloſs so weit herabgeht, als derjenigen Elasticität proportional ist, bis zu welcher er expandirt wird, wonach also die ganze ihm mitgetheilte Elasticität benutzt würde, ohne denjenigen Wärmeverlust, welcher mit der gewöhnlichen Condensation nothwendig verbunden ist.

Vorzugsweise hat man sich auch in Deutschland mit der Ergründung dieses Gegenstandes beschäftigt, und eine Uebereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung aufzufinden, oder die letztere als unrichtig zu widerlegen gesucht. Gleich anfangs äuſserte sich GILBERT [1] gegen die von PERKINS und seinen Anhängern aufgestellten Behauptungen als mit Theorie und anderweitigen Erfahrungen im Widerspruche stehend. Hiergegen zeigte G. G. SCHMIDT [2], daſs die Angaben von PERKINS allerdings mit der Theorie übereinstimmen, wenn man zur Prüfung derselben die von ihm aufgestellten Formeln anwende, welche unten näher angegeben werden sollen. Ferner folgt aus einer auf den Nutzeffect und die verbrauchte Quantität des Wasserdampfes gestützte Berechnung desselben, daſs der Verbrauch von Brennmaterial bei PERKINS's und WATT's Maschinen für gleiche Effecte im Verhältniſs von 2 : 3 steht, wobei aber fraglich bleibt, ob die bei beiden angegebene, mit der Theorie übrigens nach den gebrauchten Formeln übereinstimmenden Effecte auch wirklich die richtigen sind [3]. Hierbei ist aber wohl zu berücksichtigen, daſs nach allen über die Dichtigkeit der Dämpfe aufgestellten Formeln diese im zusammengesetzten geraden Verhältnisse der Elasticitäten, und im umgekehrten der

densationswasser mittheile; jeden anderweitigen Wärmeaufwand, als der zur Dampfbildung verwandt wird, ausgeschlossen; so ist dieses an sich vollkommen richtig, und kann nicht zu Miſsverständnissen führen, wenn man nur berücksichtigt, daſs den Erfahrungen nach ein Volumen von n-facher Dichtigkeit n mal so viel Condensationswasser auf gleiche Weise erhitzt, als ein gleiches Volumen Dampf von einfacher Dichtigkeit.

1 Ann. LXXV. 124.

2 G. LXXV. 348.

3 Vergl. *Dampfmaschine, Effect derselben.*

Temperaturen steht, mithin zur Erhaltung z. B. der doppelten Elasticität nicht die doppelte Quantität Dampf erforderlich ist [1]; und dieses entscheidet ganz offenbar für einen Vortheil zu Gunsten der Dampfmaschinen mit hohem Drucke, insbesondere der von PERKINS erfundenen [2]. Um dieses sowohl im Allgemeinen, als auch in specieller Beziehung auf die Perkins'schen Maschinen deutlich zu machen, wollen wir abermals die demnächst zu bestimmenden Elasticitäten und Dichtigkeiten als genau voraussetzen, und bei der Berechnung benutzen. Bei Perkins's Dampfmaschinen wird ein 35facher Luftdruck vermittelst des Dampfes durch die hierzu erforderliche Heizung erzeugt, wovon aber $\frac{1}{7}$tel unbenutzt bleibt, indem der Dampf bis zur Spannung von 5 Atmosphären abgekühlt, und so wieder in den Erzeuger zurückgepreſst wird. Bei den gewöhnlichen Dampfmaschinen von einfach atmosphärischem Drucke wird der Dampf nur höchstens bis etwa 50° C. wieder abgekühlt, welcher Temperatur 3,4 Z. Quecksilberhöhe zugehört, so daſs also auch hierbei nahe $\frac{1}{7}$tel, in der Wirklichkeit gewiſs volle $\frac{1}{7}$tel verloren wird. Nehmen wir nun ferner an, daſs im Verhältniſs beider ungleicher Elasticitäten die zum Hineinpressen des Dampfes in den Generator bei Perkins's Dampfmaschinen erforderliche Kraft derjenigen gleich ist, welche bei den Watt'schen auf die Bewegung der Condensationspumpe verwandt werden muſs, so wird der Nutzeffect beider im umgekehrten Verhältnisse der zur Erzeugung des Dampfes erforderlichen Wärmemengen stehen. Hiernach ist dann, die Dichtigkeit des Dampfes von atmosphärischem Drucke als Einheit angesehen die des 35mal so elastischen = 24,8, oder in runder Zahl = 25, mithin wird

---

1 Millington a. a. O. p. 385. ſagt geradezu: *da es klar bewiesen ist, daſs die Zunahme an Kraft in dem Dampfe gröſser ist, als diejenige in der Feuerung, um diese hervorzubringen;* allein, auf welche Weise dieses bewiesen sey, wird nicht angegeben.

2 Hiernach ist Bernoulli zu berichtigen, welcher in seinem Werke: Anfangsgründe der Dampfmaschinenlehre für Techniker und Freunde der Mechanik. Basel 1825. 8. a. a. O. behauptet, zur Erzeugung des doppelten Druckes sey eine doppelte Quantität Dampf erforderlich, und daher kein Ersparniſs an Feuermaterial zu erhalten. Das Verhalten der Dämpfe ist anders als das der permanenten Gasarten. Vergl. unten *Dichtigkeit.*

für jene $35 \times 640°$ Wärme erfordert, für diese aber nur $25 \times 640°$, oder die Perkins'schen und Watt'schen Maschinen stehen rücksichtlich des erforderlichen Verbrauches von Brennstoff im Verhältnifs von 5:7, wenn man die Bedingungen der Erwärmung bei beiden völlig gleich setzt.

Viele haben sich bei der Beurtheilung dieser Maschinen auf das Zeugnifs des sachverständigen PRECHTL's berufen, welcher den versprochenen grofsen Vortheil derselben bestreitet [1], jedoch aus Gründen, deren Würdigung nicht hierher gehört. Es wird nämlich aus der durch Versuche gefundenen Quantität des Dampfes, welchen eine dem Feuer ausgesetzte Oberfläche in einer gegebenen Zeit zu erzeugen vermag, nachgewiesen, dafs Perkins's Generator die erforderliche Quantität Dampf zu liefern nicht vermöge [2]. Abgesehen hiervon tritt indefs auch PRECHTL dem hier zunächst in Betrachtung kommenden, nach seiner Meinung durch die Erfahrung begründeten Satze bei, dafs nämlich gleiche Gewichte Dampf von jeder beliebigen Temperatur gleiche Wärmemengen enthalten, und diesemnach die Dämpfe von höherer Temperatur und Expansivkraft bei gleich grofser mechanischer Wirkung weniger Wärme als solche von niederer Temperatur oder geringerer Dichtigkeit zu ihrer Bildung bedürfen, woraus im Allgemeinen der Vortheil der Maschinen mit höherem Drucke hervorgeht.

Nach allem diesen dürfen wir also hinsichtlich der latenten Wärme des Dampfes den wichtigen Satz vor der Hand als durch die Erfahrung begründet ansehen, nämlich dafs die gesammte Wärme desselben, oder die Summe seiner latenten und sensibelen, bei allen Temperaturen eine constante Gröfse ist, und bei Wasserdampfe nahe genau 640° C. beträgt, und zwar in der Art, dafs wenn die latente Wärme durch λ, die sensibele durch σ bezeichnet wird, $\lambda + \sigma = 640°$ C. also $\lambda = 640°$ C. $- \sigma$ ist. Findet daher Dampfbildung oder Dampfzersetzung bei irgend einer Temperatur $= t$ nach der hunderttheiligen Scale statt, so wird die gebundene oder frei werdende Wärme für gleiche Quantitäten $640° - t$ seyn, woraus die bedeutende Erkältung durch Dampfbildung bei niedrigen Temperaturen von selbst folgt.

---

1 G. LXXVI. 227.

2 Vergl. *Dampfmaschine. Effect derselben.*

Endlich haben einige die zur Dampfbildung erforderliche Wärme nicht latente, sondern specifische nennen wollen, worüber indeſs hier nichts weiter bemerkt werden kann, als daſs diese Ansicht hier aus Gründen nicht angenommen ist [1].

2. Elasticität der Dämpfe.

Unter der *Elasticität*, auch wohl *Spannung* oder *Pressung* der Dämpfe, versteht man diejenige Kraft, mit welcher sie nach Art der atmosphärischen Luft gegen alle Körper einen Druck ausüben. Indem man aber allgemein den Druck der Luft vermittelst des Barometers miſst, oder nach der Höhe derjenigen Quecksilbersäule bestimmt, welche dieselbe vermöge ihrer Pressung emporzuhalten vermag, so bedient man sich dieses nämlichen Maſses auch bei den Dämpfen, und sagt also z. B. ihre Elasticität betrage 3 oder 8 oder überhaupt n Zolle oder Linien *Quecksilberhöhe*, welche Gröſsenbestimmung sich leicht auf den Druck einer oder mehrerer *Atmosphären* reduciren läſst, wenn man berücksichtigt, daſs der atmosphärische Luftdruck im Mittel 28 Z. Quecksilberhöhe beträgt. Indem man aber das Gewicht des atmosphärischen Luftdruckes gegen eine gegebene Fläche mit hinlänglicher Genauigkeit in Gewichten, z. B. Pfunden, kennt [2]; so läſst sich jene Gröſse auch auf diese letztere ohne Schwierigkeit reduciren.

Von der ungemein groſsen Kraft stark erhitzter Dämpfe sich zu überzeugen, giebt es viele Gelegenheiten, und es ist im Allgemeinen Regel, jederzeit mit groſser Vorsicht zu Werke zu gehen, wo Dampfbildung statt findet, und der Grad der Erhitzung nicht genau bestimmt werden kann. Obgleich dieses ohne Unterschied von allen Dämpfen tropfbarer Flüssigkeiten gilt, so werden die Fälle wirklicher Explosionen doch meistentheils bei *Wasserdämpfen* beobachtet. Dahin gehört die Vorsichtsmaſsregel, nie das Wasser zur Schwefelsäure zu gieſsen, sondern umgekehrt, weil sonst in jenem Falle das durch die Kraft des Fallens in der Schwefelsäure niedersinkende Wasser vermöge der entbundenen Wärme leicht in Dampf verwandelt, und

---

1 Vergl. *Wärme, latente.*

2 S. *Aërostatik.* Th. I. p. 262.

die Schwefelsäure aus dem Gefäſse geschleudert wird. Man hat Fälle, daſs sogar poröse Mühlsteine, wenn sie vorher von Wasser durchdrungen waren und bei lange anhaltender Bewegung erhitzt wurden, durch die Gewalt der Dämpfe mit einem furchtbaren Knalle in mehrere Stücke zersprangen. Daſs die Mühlsteine bei Kaiserslautern leicht auf die angezeigte Weise zerspringen, erwähnt Braed [1], ohne jedoch die Ursache anzugeben, genau aber wird diese Erscheinung beschrieben durch Wrede [2], wonach 1799 auf einer Windmühle bei Berlin ein ganz neu angebrachter Läufer in drei Stücke zersprang. Das eine der Stücke zerschmetterte einen eichenen, zwei F. ins Quadrat dicken Balken, und die andern wirkten auf gleiche Weise heftig gegen andere Theile der Mühle. Die Mühlsteine jener Gegend sind porös, und dieser war anhaltend 18 Stunden in starker Bewegung gewesen.

Die meisten Unglücksfälle dieser Art sind bei *Dampfmaschinen* vorgefallen, wovon man indeſs nicht auf eine absolute Gefahr dieser nützlichen Apparate schlieſsen darf, indem theils erwiesen ist, daſs sie alle durch unverzeihliche Nachlässigkeit herbeigeführt wurden, theils die groſse Menge der überall gebrauchten Dampfapparate berücksichtigt werden muſs, wogegen die einzelnen Unglücksfälle fast verschwinden. Nur beispielsweise möge hier erwähnt werden das Zerspringen des Stiefels einer Dampfmaschine zu Chelsea während der Reparatur, nach Gregory [3], wobei der Dampf zwei Arbeiter zu Boden warf, deren Haut und Fleisch wie gesotten waren. Am meisten Aufsehen machte unter andern das Auffliegen der Zuckersiederei eines gewissen Constant zu Wellstreet in London, wobei einige Nachbarhäuser und verschiedene Arbeiter beschädigt wurden [4]; das Zerplatzen des Dampfkessels in der Destillerie eines gewissen Haig in Lochrin mit einer ungeheuern Explosion [5]; das Zerspringen eines Dampfcylinders auf dem Schiffe

1 Minéralogie cet. III. 107.

2 Neue Schr. der Berl. Naturf. Gesellsch. IV. 287.

3 Haushaltung der Natur p. 108.

4 Tilloch's Phil. Mag. 1815. Dec. daraus bei G. LIV. 138.

5 Stevenson in Edinb. Phil. Journ. 1821. Jul. daraus in Bibl. univ. XVIII. 287. Ann. C. P. XXI. 351. Von dem groſsen Kessel aus Guſsei-

Washington zu Marietta am Ohio, wobei 19 Menschen verunglückten. Man hatte das Gewicht des Hebelarms am Ventile ganz ans Ende geschoben, und wegen verzögerter Abfahrt das Sieden stets fortgesetzt, ohne dem Dampfe einen Ausweg zu gestatten [1].

A. Wasserdampf.

Man hat sich vorzugsweise von jeher damit beschäftigt, die *Elasticität des Wasserdampfes* aufzufinden, theils aus Rücksichten auf die Meteorologie, theils aber und hauptsächlich wegen der frühen Anwendung desselben zur Bewegung der Maschinen [2].

Die Elasticität des Dampfes im Allgemeinen kannten schon Heron von Alexandrien, Samuel Moreland, Papinus, Amontons und andere [3], daſs aber dieselbe mit der Temperatur wachse, und nach welchem Gesetze dieses geschehe, untersuchten zuerst Watt und Ziegler in gröſserem Umfange, nachdem schon Lord Cavendish 1760 durch Versuche mit der Luftpumpe gefunden hatte, daſs Wasser im leeren Raume Dampf bilde, dessen Elasticität er bei 72° F. = 0,75 Z. Quecksilberhöhe maſs [4]. Ziegler [5] senkte Glasröhren von 12 Z., 42 Z. und 132 Z. in ein Gefäſs mit Quecksilber, welches in einem Papinischen Digestor so eingeschlossen war, daſs die Wasserdämpfe darauf wirken konnten, wobei die Wärme des Wassers im Digestor thermometrisch bestimmt und die Höhe der getragenen Quecksilbersäule nach Zollen gemessen wurde. Letztere wurde erst bei

---

sen, 9 Tonnen (180 Quintaux) schwer, wurden 7 Tonnen losgerissen, bis 60 F. hoch durch das Dach getrieben, und fielen 150 F. weit auf ein Haus, welches zertrümmert wurde. Das Getöse hörte man eine engl. Meile weit, doch kamen nur zwei Menschen dabei um.

1 G. LIV. 92.

2 Eine sehr vollständige und gehaltreiche Zusammenstellung der bis jetzt bekannten Untersuchungen von Kaemtz findet man in Schweigg. J. XXXII. 385. Sie ist hauptsächlich die Berechnungen betreffend hier benutzt.

3 S. *Dampfmaschine.*

4 Robison Mech. Phil. III. 593. II.

5 Specimen physico-chemicum de digestore Papini cet. Basil. 1759. 4. p. 31. ff.

zunehmender, dann bei abnehmender Temperatur gemessen; allein obgleich die zu beobachtenden Vorsichtsmaſsregeln, namentlich einer langsamen Erhitzung und Abkühlung angegeben sind, so stimmen doch die Resultate beider Reihen nur wenig überein, und wir können sie daher bei den späteren zahlreichen und besseren Versuchen füglich ganz übergehen.

Watt hat sich nicht bloſs im Allgemeinen, sondern auch namentlich bei der Auffindung der latenten Wärme des Dampfes als einen sehr genauen Experimentator legitimirt, und seine Versuche verdienen daher mehr Aufmerksamkeit [1]. Sie wurden im Winter 1764 auf 65 angestellt, und er bediente sich dazu eines Digestors, aus welchem er zuerst die Luft durch Sieden aus dem Sicherheitsventile entweichen lieſs, dann aber maſs er die Quecksilberhöhen, welche dem Drucke der Dämpfe bei höheren Temperaturen proportional waren. Nicht zufrieden mit diesen Versuchen wegen der Beschaffenheit der gebrauchten Glasröhren, wiederholte er sie im Winter 1773 bis 74. Hierzu nahm er eine Glasröhre e f, mit einer angeblasenen kleinen Kugel a, füllte sie mit Wasser und befreiete dieses durch Sieden sorgfältig von aller Luft bis auf eine verschwindende Gröſse, füllte dann die Röhre mit Quecksilber, worauf er abermals die Luft des Wassers durch Sieden wegschaffte, bis die Röhre, in ein Gefäſs mit Quecksilber c d gesenkt, ein eigentliches Barometer mit etwas Wasser im oberen Ende bildete, dessen Gewicht bei den Versuchen corrigirt wurde. Die Kugel a schob er von unten herauf durch eine Oeffnung in ein Gefäſs A B mit Wasser, dessen Temperatur durch ein Thermometer t gemessen wurde, bewerkstelligte die Erhitzung des Wassers im Gefäſse durch eine untergesetzte Lampe g, und indem das Wasser in der Kugel durch die mitgetheilte Wärme in Dampf verwandelt wurde, und dieser das Quecksilber in der Röhre herabdrückte, so gab die Höhe desselben von der Barometerhöhe abgezogen die Elasticität des Dampfes. Die auf diese Weise erhaltenen Gröſsen, zur leichteren Uebersicht auf Temperaturen der achzigtheiligen Scale und Pariser Zolle reducirt sind, folgende:

Fig. 105.

1 Watt's Anm. zu Robison Mech. Phil. II. 29. ff.

t	e	t	e	t	e	t	e
10,22	0,14	45,78	4,22	60,00	10,32	68,89	16,30
18,67	0,61	48,89	5,06	62,22	11,07	69,78	17,20
21,78	0,75	51,56	6,00	63,56	12,07	70,67	18,17
28,00	1,20	53,78	6,84	64,67	12,95	71,78	19,00
32,00	1,62	55,56	7,72	65,78	13,80	73,08	20,80
38,22	2,44	57,33	8,61	66,89	14,70		
42,67	3,75	58,67	9,40	68,00	15,56		

Zum Wasser höherer Elasticitäten wandte er einen Apparat an, wie der von Ziegler gebrauchte, mit einer Röhre von 55 Z. und erhielt folgende, auf gleiche Weise reducirte Werthe.

t	e	t	e	t	e	t	e
80,44	28,15	87,11	36,55	92,44	45,93	100,89	61,93
81,33	29,38	87,78	37,50	93,55	46,93	101,78	63,81
82,22	29,95	88,44	38,43	94,45	48,81	102,45	65,60
83,11	30,75	89,11	39,33	95,56	50,60	103,34	67,40
83,78	31,88	89,78	40,22	96,22	52,51	104,22	69,30
84,44	32,85	90,22	41,20	97,11	54,40	104,89	71,21
85,11	33,75	90,89	42,23	98,00	56,30	105,56	73,10
85,71	34,65	91,34	43,15	99,11	58,20	106,22	75,00
86,45	35,65	91,78	44,00	100,0	60,10	106,89	76,87

Die Vergleichung dieser Versuche mit späteren genauen ergiebt, dafs sie zwar zur Begründung einer allgemeinen Formel nicht genügen, dennoch aber unter die vorzüglichsten und besten gehören, wie sich dieses auch eben so sehr von dem gebrauchten Apparate, als auch von der Geschicklichkeit und Vorsicht Watt's nicht anders erwarten läfst. Auf allen Fall hätte indefs der in neueren Zeiten beobachtete Einflufs des Druckes, welchen der sehr expandirte Dampf gegen die Kugel des Thermometers ausübt, mit berücksichtigt werden müssen. Um zuvörderst diejenigen Versuche zu erwähnen, welche von den Experimentatoren selbst oder von andern noch nicht zur Auffindung eines allgemeinen Gesetzes des Verhältnisses der Elasticitäten und der Temperaturen benutzt sind, mögen hier diejenigen folgen, welche Robison [1] anstellte. Der Apparat, womit er die Elasticitäten bis zur Siedehitze mafs, gleicht dem von Watt gebrauchten, mit dem Unterschiede, dafs das Rohr

1 Encyclop. Britannica 2te edit. XVII. 739. Robison in Mech. Phil. II. 23. Den Versuch, welchen der Verf. macht, die gefundenen Werthe auf eine allgemeine Formel zurückzubringen, übergehe ich.

mit Quecksilber nicht von unten in das Dampfgefäfs geschoben, sondern umgebogen und von oben in dasselbe gesenkt wurde, desgleichen dafs das Dampfgefäfs ein Sicherheitsventil hatte. Für die Elasticitäten höherer Temperaturen gebrauchte er einen einfachen, ohne Beschreibung durch den Anblick der Zeichnung verständlichen Apparat, nämlich eine doppelt gekrümmte Röhre, mit einem Gefäfse voll Quecksilbers in der Mitte, deren unteres Ende in eine Oeffnung des Digestors gesenkt wurde, worauf dann die Dämpfe das Quecksilber in dem andern Schenkel der Röhre in die Höhe trieben. Die durch ihn erhaltenen Resultate zeigt die folgende Tabelle, nach der Reduction von KAEMTZ auf t in Graden R. und e in Par. Zollen. Fig. 106.

t	e	t	e	t	e	t	e
0,00	0,000	30,27	1,501	61,43	10,368	88,13	41,751
3,56	0,094	34,72	2,111	65,88	13,182	92,58	51,510
8,01	0,188	39,17	2,816	70,33	16,748	97,03	62,675
12,46	0,328	43,62	3,706	74,78	21,223	101,48	75,341
16,91	0,516	48,07	4,831	79,23	26,881	105,94	88,289
21,37	0,769	52,52	6,305	80,12	28,147	110,39	99,360
25,82	1,107	56,97	8,116	83,68	33,589		

BETANCOURT stellte mehrere Reihen von Versuchen an, um die Elasticität der Wasserdämpfe bei verschiedenen Temperaturen aufzufinden, welche nicht so sehr durch seine eigene Abhandlung [1], als vielmehr dadurch sehr bekannt geworden sind, dafs PRONY [2] sie zur Auffindung einer allgemeinen Formel benutzte, und bei seinen Berechnungen des Effectes der Dampfmaschinen zum Grunde legte. BETANCOURT's allerdings zweckmäfsig construirter Apparat bestand aus einem Papinischen Digestor A, mit einer Oeffnung a zum Eingiefsen des Wassers, einem eingesenkten Thermometer h t, einer seitwärts angebrachten, durch einen Hahn b verschliefsbaren, und vermittelst eines biegsamen Rohres mit einer Campane verbundenen Fig. 107.

---

1 Mémoire sur la force expansive de la vapeur cet. par M. de Betancourt. à Paris 1792. 4.

2 Neue Architectura Hydraulica, übers. von Langsdorf 1795. II. Th. 4. I. 602 II. 6. ff. Derselbe in Journal de l'école polytechnique à Paris An. IV. 4. Cah. II. p. 24. Vergl. Langsdorf Lehrbuch d. Hydraulik mit beständiger Rücksicht auf d. Erfahrung. Alteub. 1794. 4. p. 390. Gren N. J. I. 174. IV. 215.

Röhre o′o″, um die Luft aus dem oberen Raume des Digestors über dem Wasser durch Aufsetzen der Campane auf den Teller einer Luftpumpe wegzuschaffen, und endlich aus einer viermal gebogenen Glasröhre, deren aufrecht stehendes, oben offenes, Ende vermittelst einer angebrachten Scale in Par. Zolle und deren Theile getheilt war. Das in derselben oder einem damit verbundenen Gefäſse befindliche Quecksilber diente dazu, für Temperaturen unter dem Siedepuncte in dem Theile der Röhre k n ein Barometer zu bilden, und durch die Differenz der Höhe des Quecksilbers in diesem und einem zugleich beobachteten wirklichen Barometer sowohl die Elasticitäten der Dämpfe unter der Siedehitze zu messen, als auch durch das Aufsteigen desselben im längeren Schenkel der Röhre k′ n′ die Elasticitäten derselben bei höheren Temperaturen zu finden. Daſs bei diesem Apparate die Differenz der Quecksilberhöhe in der Röhre und im wirklichen Barometer beim Gefrierpuncte der noch im Digestor befindlichen Luft beigemessen wurde, folglich die Elasticität der Dämpfe beim Gefrierpuncte = 0 genommen werden muſste, versteht sich von selbst. Diejenigen Quecksilberhöhen, welche Betancourt in dem genauesten seiner Versuche den verschiedenen Temperaturen zugehörend fand, sind nach Graden der achtzigtheiligen Scale in Par. Duodecimalzollen folgende:

t	e	t	e	t	e	t	e
3	0,00	30	1,52	57	8,40	84	34,60
4	0,02	31	1,65	58	8,85	85	36,45
5	0,02	32	1,78	59	9,35	86	38,10
6	0,05	33	1,90	60	9,95	87	40,00
7	0,07	34	2,00	61	10,40	88	42,20
8	0,10	35	2,15	62	11,00	89	44,30
9	0,12	36	2,27	63	11,70	90	46,40
10	0,15	37	2,45	64	12,40	91	48,40
11	0,18	38	2,57	65	13,20	92	50,50
12	0,22	39	2,75	66	13,80	93	53,00
13	0,27	40	2,92	67	14,50	94	55,30
14	0,30	41	3,10	68	15,25	95	57,80
15	0,35	42	3,27	69	16,10	96	60,50
16	0,40	43	3,47	70	16,90	97	63,40
17	0,45	44	3,70	71	17,80	98	66,20
18	0,52	45	3,95	72	18,70	99	69,00
19	0,58	46	4,25	73	19,50	100	71,80
20	0,65	47	4,45	74	20,60	01	75,00

t	e	t	e	t	e	t	e
21	0,75	48	4,75	75	21,75	102	78,20
22	0,82	49	5,00	76	22,90	103	81,00
23	0,90	50	5,35	77	24,15	104	84,00
24	0,97	51	5,70	78	25,50	105	86,80
25	1,05	52	6,05	79	26,67	106	89,00
26	1,12	53	6,50	80	28,00	107	91,30
27	1,22	54	6,90	81	29,60	108	93,50
28	1,32	55	7,32	82	31,30	109	95,60
29	1,42	56	7,85	83	33,00	110	98,00

Diejenige Formel, welche Prony auf diese Beobachtungen nach einer sehr zusammengesetzten Interpolationsmethode gegründet hat, ist folgende:

$$y = e^{\mu + \lambda x} + e^{\mu' + \lambda' x} - e^{\sigma x - \varrho} - e^{\sigma' x - \varrho'}$$

worin y die Höhe der Quecksilbersäule, e die Basis der gemeinen Logarithmen = 10, x die Thermometergrade nach R. bezeichnen, die acht Exponenten aber

$\mu = 0,0688331$ $\sigma' = 0,049157$

$\lambda = 0,0194438$ $\mu' = 0,068805$

$\lambda' = 0,01349$ $\varrho = 4,68608$

$\sigma = 0,058576$ $\varrho' = 3,93256$

Dafs diese Formel die durch Versuche gefundenen Werthe sehr gut darstelle, zeigt die nachfolgende tabellarische Zusammenstellung, bei welcher noch dazu die Differenzen bald positiv bald negativ sind, wovon man auf die Pafslichkeit der Formel zu schliefsen berechtigt wird. Es bezeichnen nämlich wie oben t die Temperaturen nach der achtzigtheiligen Scale, e die Elasticitäten nach Versuchen, e' nach Rechnung und Δ die Differenzen beider.

t	e	e'	Δ	t	e	e'	Δ
0	0,00	0,0000	0,00	70	16,90	16,5770	— 0,32
10	0,15	0,2304	+ 0,08	80	28,00	28,0060	0,00
20	0,65	0,6872	+ 0,03	90	46,40	45,8700	— 0,53
30	1,52	1,5019	— 0,02	95	57,80	57,8010	0,00
40	2,92	2,9711	+ 0,05	100	71,80	71,5520	— 0,25
50	5,35	5,4453	+ 0,09	104	84,00	83,259	— 0,74
60	9,95	9,6280	— 0,32	110	98,00	98,356	+ 0,35
67	14,50	14,1161	— 0,38				

Dafs indefs diese Formel nicht hinreiche, das Verhältnifs der Elasticitäten des Wasserdampfes und der Temperaturen

auszudrücken, hat J. G. Voigt [1] gezeigt, indem er nachweiset, dafs sie zu Ungereimtheiten führt, indem unter andern für x=120 y einen negativen Werth erhält. Aufserdem aber gehören die Versuche keineswegs zu der Zahl derjenigen, welche auf hinlängliche Genauigkeit zur Begründung eines allgemeinen Gesetzes der Elasticitäten Anspruch machen dürften, wie in der Folge noch weiter gezeigt werden wird.

Prony wandte später seine allgemeine Interpolationsmethode [2] auf eben diese Beobachtungen an, und berechnete sie nach der Formel

$$y = \mu_{,} \varrho_{,}^{x} + \mu_{,,} \varrho_{,,}^{x} + \mu_{,,,} \varrho_{,,,}^{x}$$

bei welcher für die Elasticitäten vom Gefrierpuncte bis zum Siedepuncte das erste Glied weggelassen werden kann. Hierin ist

$$\varrho_{,} = 1{,}172805 \qquad \mu_{,} = -\,0{,}0000007246$$
$$\varrho_{,,} = 1{,}047773 \qquad \mu_{,,} = 0{,}8648188303$$
$$\varrho_{,,,} = 1{,}028189 \qquad \mu_{,,,} = -\,0{,}8648181057$$

welche mit den Beobachtungen noch genauer übereinstimmende Werthe giebt, von dem oben gerügten Fehler aber nicht frei ist.

Unter die gehaltreichsten Versuche über diesen Gegenstand gehören unstreitig die von G. G. Schmidt [3] schon im December 1797 angestellten. Sein hierzu gebrauchter Apparat hatte die dem Gelingen nachtheilige viermalgebogene Röhre des Betancourtschen Digestors nicht, auch wurde er durch die Dämpfe des siedenden Wassers anfänglich Luftleer gemacht, welches sicher das Beste ist. Der Hahn g schlofs dann, nachdem durch Sieden alle Luft weggeschafft war, das Gefäfs A ab, und wurde erst wieder geöffnet, wenn das Wasser in dem letzteren beim Versuche die Siedehitze abermals erreicht hatte. Dafs endlich das im Gefäfse d d enthaltene Quecksilber, dessen Rand nach der früher angestellten Messung des Inhalts dieses Gefäfses und der Röhre f corrigirt werden konnte, durch den Druck der Dämpfe in dieser Röhre in die Höhe gehoben wurde,

Fig. 108.

1 Gren N. J. I. 331. Vergl. G. G. Schmidt ebend. IV. 260.

2 Neue Archit. Hydr. II. 148. Vergl. Journ. de l'École Pol. a. a. O.

3 Gren N. J. IV. 264. Vers. über d. Expansivkraft, Dichte und latente Hitze d. reinen Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen von G. G. Schmidt. Leipz. 1798. 8.

ist an sich klar.[1] Ueber 114° R. konnten die Versuche nicht fortgesetzt werden, weil die zwischen den Schrauben liegenden Leder zusammendörreten. Hanf ist daher für solche Zwecke weit vorzuziehen. Die aus den Versuchen erhaltenen mittleren Werthe für Grade t nach R. und e in Par. Zollen sind folgende:

t	e	t	e	t	e	t	e
80	28,00	89	41,86	98	61,75	107	88,22
81	—	90	43,77	99	64,28	108	92,06
82	31,05	91	45,89	100	67,00	109	96,20
83	32,56	92	48,02	101	69,53	110	100,72
84	33,98	93	50,03	102	72,46	111	104,35
85	35,39	94	51,84	103	75,29	112	109,18
86	36,91	95	54,18	104	78,22	113	113,10
87	38,42	96	56,71	105	80,95	114	117,12
88	40,24	97	59,18	106	84,99		

Um die Elasticitäten des Dampfes unter der Siedehitze zu finden, bediente sich SCHMIDT des sehr zweckmäfsig eingerichteten Ciarcy'schen Dampfbarometers. Dasselbe besteht aus einem gewöhnlichen gut ausgekochten Flaschenbarometer, dessen Oeffnung e so eingerichtet ist, dafs ein Thermometer f g hineingesenkt, und sie durch einen auf die Röhre desselben geschobenen Kork dampfdicht verschlossen werden kann. An der Flasche des Barometers ist seitwärts die kleine Phiole h angebracht, in deren untere Oeffnung gleichfalls vermittelst eines Korkes die kleine Retorte k gesteckt wird, welche letztere etwas Wasser enthält, das man durch eine untergehaltene Lampe sieden läfst, und wenn dann sowohl h als auch das Gefäfs des Barometers p p mit siedendem Dampfe gefüllt und aus beiden die Luft ausgetrieben ist, so wird der ganze Apparat durch die beiden Korke verschlossen, man läfst ihn erkalten, das Quecksilber sinkt aus der Barometerröhre in das Gefäfs p p, und indem man alsdann das in diesem zurückgebliebene Wasser allmälig erhitzt, so erhält man nach Angabe des in demselben befindlichen Thermometers die den Temperaturen des Dampfes zugehörigen Elasticitäten des Wasserdampfes in Höhen der Quecksilbersäule. Noch einfacher wird dieser Apparat, wenn

Fig. 109.

[1] Die ursprüngliche Einrichtung Ziegler's, das Gefäfs mit dem Quecksilber in den Digestor selbst zu bringen, scheint mir unter allen noch die vorzüglichste. Vergl. Biker bei G. X. 268.

man die Phiole h und die Retorte k ganz wegläſst, etwas Wasser im Gefäſse p p zum Sieden bringt, und nachdem alle Luft ausgetrieben ist, dasselbe vermittelst des Korkes am Thermometer verschlieſst, und so verfährt, wie oben angegeben ist, wobei man zu gröſserer Vorsicht wohl thut, den Kork mit einem Kitt aus Bernsteinfirniſs und ungelöschtem Kalke zu überstreichen, um jedes Eindringen der Luft zu verhüten. Die mit diesem Apparate gefundenen Werthe auf gleiche Weise gemessen sind folgende:

t	e	t	e	t	e	t	e
0	0,00	18	0,76	40	3,64	65	14,07
5	0,11	20	0,90	45	5,14	70	17,92
6	0,15	22	1,01	50	6,40	71	18,66
10	0,28	25	1,30	55	8,65	72	19,71
12	0,38	27	1,42	58	10,14	73	20,61
13	0,44	30	1,93	59	10,42	74	21,80
15	0,55	33	2,23	60	10,98	75	22,29
16	0,61	35	2,68	62	12,24	80	28,00

Schmidt leitete aus seinen Versuchen eine allgemeine Formel ab, um die Elasticität des Wasserdampfes = e in Hunderttheilen von Par. Zollen als Function der Temperatur in Graden der achtzigtheiligen Scale auszudrücken, nämlich

$$e = t^{1,4113+0,005t}$$

welche allerdings die durch Versuche innerhalb der von Schmidt angewandten Temperaturen gefundenen Gröſsen sehr nahe genau giebt. Soll dieselbe aber als allgemein gelten, so zeigt sich bald, daſs sie erstlich für t = 0 auch e = 0 giebt, welches mit der Erfahrung nicht übereinstimmt; zweitens aber werden in hohen Temperaturen die Werthe von e weit gröſser, als glaublich ist, und den Erfahrungen nicht entsprechend. Für t = 254° R. z. B. wird e = 28060 P. Z. und für t = 464° sogar 88331000. Endlich würden verneinte Werthe von t auch verneinte von e geben, welches abermals der Natur der Wärme nach nicht seyn kann, insofern der Gefrierpunct des Thermometers nicht den absoluten Nullpunct bezeichnet. Hinsichtlich auf die Resultate der Versuche selbst sind die unter dem Siedepuncte des Wassers bei den niederen Graden erhaltene Elasticitäten etwas gröſser als diejenigen, welche von andern Physikern gefunden wurden, die über dem Siedepuncte beobachteten stim-

men zwar mit den Betancourtschen sehr nahe überein, beide aber wachsen bei zunehmenden Temperaturen stärker, als WATT gefunden haben will. Wenn indeſs Versuche dieser Art fehlerhaft werden, so darf man immer voraussetzen, daſs die Elasticitäten zu groſs, als daſs sie zu klein gefunden sind, weil die Dämpfe früher die höhere Temperatur annehmen, als sie diese dem Quecksilber des Thermometers mittheilen.

Schon vor der Bekanntwerdung der Betancourt'schen Versuche wollte L. BIKER zu Rotterdam die Elasticität der Wasserdämpfe untersuchen, wurde durch Geschäfte daran gehindert, aber durch die Kenntniſs jener wieder dazu aufgefordert; nahm dann den Lehrer der Chemie zu Rotterdam, H. W. ROUPPE zum Gehülfen, und lieſs einen Apparat construiren, durch welchen er die Fehler BETANCOURT's am besten vermied, indem er das Quecksilbergefäſs mit der Messungsröhre in den Digestor selbst setzte [1]. Dieser stand in dem eisernen Ofen A, war aus $\frac{3}{16}$ Z. dickem geschlagenen Kupfer, 11 Z. hoch und 10 Z. weit, mit einem noch einmal so dicken aufgeschrobenen Deckel und zwischenliegender Bleischeibe, um das Schwinden der Lederscheiben zu vermeiden. Der Deckel hat fünf Oeffnungen mit verschiedenen Vorrichtungen, welche gleichfalls vermittelst Bleischeiben dampfdicht verschlossen sind. In der Mitte befindet sich der Dampfcylinder G G, mit einem doppelt durchbohrten Hahne M, vermittelst dessen sich der Dampfcylinder mit dem Digestor oder auch mit der äuſsern Luft in Verbindung setzen läſst, auch giebt er den Dämpfen im Digestor einen Ausweg, um vor den Versuchen die in demselben eingeschlossene Luft wegzuschaffen. Schraubt man die Deckplatte des Dampfcylinders G G ab, so läſst sich ein luftdicht schlieſsender Embolus hineinschieben, welcher durch die Dämpfe nach der Oeffnung des Hahns in die Höhe gehoben wird, und dann geben aufgelegte Gewichte die Kraft an, welche der Dampf gegen den Embolus ausübt. Wird dann der Zutritt des Dampfes durch den Hahn abgeschlossen, und aus einer in das Röhrchen N eingeschrobenen Spritze Wasser in den Cylinder gespritzt, so

Fig. 110.

1 Aus Nieuwe Verhandelingen van het Bataafsch Genootschap der proefondervindelyke Wysbegeerte to Rotterdam. Deel I. Amst. 1800. bei G. X. 257.

condensirt sich der Dampf, der Embolus wird durch die atmosphärische Luft niedergedrückt, und das gebildete Wasser läuft durch die Oeffnung des Hahns ab, worauf der Procefs von Neuem beginnen kann. Man sieht leicht, dafs hiermit das Spiel der atmosphärischen Dampfmaschinen im Kleinen nachgebildet werden sollte. Die Oeffnung R war bestimmt, den Digestor mit Wasser zu füllen, worauf sie entweder mit einem Sicherheitsventile, (einem Kegelventile mit Hebelarme) oder mit der Röhre R S O zugeschroben wurde, vermittelst welcher der Apparat durch Anwendung einer Luftpumpe evacuirt werden konnte. In der dritten Oeffnung des Deckels war das Thermometer T T, dessen Kugel 4 Z. tief unter denselben hinabreichte, in der vierten die 110 Z. lange, oben verschlossene Mefsröhre K Q, welche eben wie die Thermometerröhre in ihre Fassung mit Mennig und dick eingekochtem Leinöle eingekittet war. Dieser nämliche Kitt, nachdem noch etwas Bleiweifs zugesetzt worden, diente zum Verstreichen der Fugen. Das untere Ende der Röhre war in das eiserne Gefäfs P gesenkt, welches eine hinlängliche Menge Quecksilber fafste, um die ganze Röhre damit zu füllen, von unten in den Deckel d d eingelassen war, vermittelst der Oeffnung e mit dem Dampfe im Digestor communicirte, vermittelst der Röhre b aber mit der äufseren Luft, indem das, aus der fünften Oeffnung des Deckels tretende Ende dieser letzteren durch den Hahn H geöffnet oder verschlossen werden konnte, um die Luft oder die zu stark erhitzten Dämpfe entweichen zu lassen oder abzusperren. Bei den Versuchen selbst ist es vor allen Dingen nothwendig, das Feuer sehr zu mäfsigen, weil sonst die Elasticität der Dämpfe dem Thermometer voraus eilt, auch müssen die Ventile genau schliefsen, indem beim Entweichen von etwas Dampf die Elasticitäten zu geringe gefunden werden. Aufserdem wandten die Experimentatoren auch noch das zweckdienliche Mittel an, dafs sie das Feuer dämpften, und die Versuche bei abnehmender Wärme wiederholten. Einige Resultate dieser genauen Versuche [1] nach der Reduction von Kaemtz enthält die folgende Tafel, nämlich

Fig. 111.

[1] Da sie mit den durch Schmidt gefundenen so genau übereinstimmen, so ist es überflüssig, mehrere herzusetzen.

für die Temperaturen t der achtzigtheiligen Scale die Elasticitäten e in Par. Zollen Quecksilberhöhe.

t	e	t	e	t	e
80	28,014	90	44,338	100	66,654
84	34,100	92	48,011	104	77,280
85	35,546	95	54,290	105	80,130
88	40,379	96	56,608	108	91,580

Nicht leicht sind Versuche allgemeiner beachtet und mehr über ihren Werth geschätzt, als diejenigen, welche John Dalton [1] angestellt hat, um ein allgemeines Gesetz über die Elasticitäten der Dämpfe aufzufinden. Er nahm zu seinen Versuchen eine Barometerröhre, füllte sie mit Quecksilber und zeichnete eine Scale auf dieselbe, drehete sie um, goſs eine kleine Quantität der zu untersuchenden Flüssigkeit über das Quecksilber, benetzte durch Umkehren der Röhre hiermit die Wände derselben, brachte durch wiederholtes Umkehren und Neigen derselben eine Lage von zwei bis drei Linien dieser Flüssigkeit über das Quecksilber, und befreiete dieselbe zugleich von der absorbirten Luft, wodurch dann endlich ein Barometer mit etwas Flüssigkeit im torricellischen Raume entstand, aus welcher sich Dämpfe bildeten, deren Elasticität durch die verminderte Höhe der Quecksilbersäule angezeigt wurde. Um den Dämpfen in dieser Röhre eine verschiedene Temperatur zu geben, nahm Dalton ferner eine 2 Z. weite und 14 Z. lange Glasröhre, unten und oben mit einem Korkstöpsel verschlossen, durch welche in der Mitte die Barometerröhre geschoben wurde. Der untere Kork schloſs wasserdicht, der obere aber war fast zur Hälfte weggeschnitten, um Wasser von verschiedener Temperatur hineinzugieſsen, dadurch die eingeschlossene Barometerröhre zu erwärmen, und dann die zugehörige Depression des Quecksilbers, durch die entstandenen Dämpfe bewirkt, zu messen. Weil indeſs dieser Apparat höhere Grade der Wärme nicht aushielt, so wählte Dalton hierfür zwei zinnerne Röhren, eine dünnere, an beiden Seiten offene, welche in die Bodenplatte der weiteren so gelöthet war, daſs beider Axen zusammenfielen. Beide waren zwei Fuſs lang. In die engere wurde dann ver-

---

1 Memoirs of the literary and phil. Soc. of Manchester 1805. V. 550. Vergl. G. XV. 1 ff. Brugnatelli G. Dec. II. P. II. p. 187.

nennt die der Temperatur 100 — n in Graden der hunderttheiligen Scale zugehörige Elasticität F_n, und erhält dann

$$F_0 = 30 \text{ Z.}$$
$$F_1 = 30 \text{ Z.} + K'$$
$$F_2 = 30 \text{ Z.} + K^2, \text{ also allgemein}$$
$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$
$$F_n = 30 \text{ Z.} + K^n \text{ oder}$$
$$\log. F_n = \log. 30 \text{ Z.} + n \log. K.$$

Dieses ist zwar den Versuchen nicht genau angemessen, weicht aber nicht viel davon ab, weil die Abnahme der Factoren nur langsam geschieht. Es ist indefs auch nicht schwierig, die Abnahme der Logarithmen von F_n durch eine Reihe von der Form $an + bn^2 + cn^3$ auszudrücken, indem die höheren Potenzen von n überflüssig sind, woraus dann entsteht

$$\log. F_n = \log. 30 + an + bn^2 + cn^3.$$

Um hieraus die Coefficienten zu finden, gebraucht Biot die für 100°, 75°, 50°, 25° C. gefundenen Elasticitäten, welches giebt

$n = 0$	$F_0 = 30$ Z	$n = 50$	$F_{50} = 3{,}50$
$n = 25$	$F_{25} = 11{,}250$	$n = 75$	$F_{75} = 0{,}91$

welche Werthe substituirt giebt

$$-0{,}4259687 = 25\,a + 625\,b + 15625\,c$$
$$-0{,}9330519 = 50\,a + 2500\,b + 125000\,c$$
$$-1{,}5180799 = 75\,a + 5625\,b + 421875\,c$$

aus welchen drei Gleichungen

$$a = -0{,}01537419550$$
$$b = -0{,}00006742735$$
$$c = +0{,}00000003381$$

folgen, vermittelst deren man die Formel für Grade der Centesimalscale und englische Zolle leicht allgemein machen kann, wenn man

$$\log. F_n = 1{,}4771213 + an + bn^2 + cn^3$$

nimmt, worin n für Grade unter 100° C. positiv, über dem Siedepunct aber negativ ist. Für Par. Zolle aber, wenn man das Verhältnifs 30 : 28,15 annimmt,

$$\log. F_n = 1{,}4494784 + an + bn^2 + cn^3.$$

Wäre z. B. die Elasticität des Wasserdampfes beim Gefrierpuncte zu finden, so wäre n = 100, und

$$\log. F_{100} = 1{,}4494784 - 2{,}1778830 = -0{,}7284046$$

woraus log. e = 0,2715954—1

die Elasticität = 0,1868 . . P. Z. mit der Erfahrung sehr gut übereinstimmend giebt. Um diese Formel auch für sehr hohe Wärmegrade zu prüfen, wähle ich die oben von Schmidt genommenen, nämlich 254° und 464° R, oder nach der hunderttheiligen Scale 317°,5 und 580° C. diese geben

$$\log. F_{317,5} = 1,4494784 - 2,9979133 = -1,5484349$$

woraus log. e = 0,4515650—2

die Elasticität = 0,028285 Z.

$$\log. F_{580} = 1,4494784 - 19,2122066 = -17,7627282$$

woraus log. e = 0,2372717—18

welches beides mit der Natur der Sache unmöglich bestehen kann.

Veranlafst durch Watt stellte im Jahre 1797 und 98, gleichzeitig mit Dalton auch Southern einige Reihen von Versuchen an, wobei er sich für die Temperaturen bis zur Siedehitze eines ähnlichen Apparates bediente, als der von Watt gebrauchte war, für die höheren aber eines etwas veränderten papinischen Digestors, und er versichert, dafs die Resultate der einzelnen Versuche unter einander eine sehr genaue Uebereinstimmung gezeigt hätten. Auf Grade nach R. und Par. Zolle reducirt sind die mittleren von ihm erhaltenen Werthe in folgender Tabelle enthalten.

t	e	t	e	t	e	t	e
0,00	0,150	26,71	1,332	53,41	7,412	75,67	23,090
4,45	0,216	31,16	1,839	57,87	9,429	80,12	28,148
8,90	0,328	35,61	2,496	62,32	11,935	97,03	56,295
13,35	0,488	40,06	3,359	66,77	15,021	116,35	112,590
17,80	0,685	44,51	4,419	71,22	18,803	138,69	225,180
22,26	0,957	48,96	5,723				

Werden die Elasticitäten der höheren Thermometergrade mit den von Watt, Betancourt, Schmidt und Roupe gefundenen verglichen, so stimmen sie mit den ersteren sehr nahe überein, bleiben aber hinter den andern merklich zurück. Nach diesen Resultaten bildet Southern eine allgemeine Formel für die Elasticität der Wasserdämpfe, nämlich wenn e die Elasticität, t die Temperatur in Graden nach Fahrenheit bezeichnet, so ist

$$\log. E = 5,14 \log. T - 10,97427.$$

worin $E = e - \frac{1}{10}$ und $T = t + 52$ bezeichnet [1]. Eine Vergleichung der durch die Versuche erhaltenen Werthe mit denen, welche nach SOUTHERN die Rechnung giebt, zeigt, dafs die Formel das Gesetz der Elasticität des Wasserdampfes innerhalb des Umfanges der Beobachtungen sehr gut darstellt. Allein die Formel giebt an, dafs die Elasticitäten den Logarithmen der Temperaturen, um eine beständige Gröfse vermehrt, proportional seyn sollen, welches schwerlich als allgemeines Gesetz für die höchsten und niedrigsten Temperaturen gelten kann. Um aber auch diese Formel für höhere Temperaturen zu prüfen, mögen dazu die mehrmals genommenen gewählt werden, nämlich 254° und 464° R. oder 571°,5 und 1044°,0 F. Die erstere giebt e = 2707,5 und die letztere 77029,7 engl. Zolle Quecksilberhöhen, oder 2540 und 72278 Par. Zolle, welche beide Werthe offenbar zu grofs sind.

Zum Theil in der Absicht, die durch DALTON erhaltenen Resultate zu prüfen, stellte A. URE [2] einige Reihen von Versuchen an, und bediente sich hierzu zwar ähnlicher, aber ungleich zweckmäfsigerer Apparate als jener. Eine heberförmig gekrümmte Glasröhre l L D mit fast gleich langen Schenkeln war für die niederen Temperaturen bestimmt, eine andere mit einem aufstehenden kürzeren Schenkel und eine dritte mit schräg liegendem enthielten in dem zugeschmolzenen Ende nur etwa einen Zoll lang den Dampf der zu untersuchenden Flüssigkeit, während die Höhe des im offenen Schenkel zugegossenen Quecksilbers durch die Differenz seiner Höhe L D die Elasticität angab. Ein feiner, bei l umgebundener Platindraht diente zur genauen Bezeichnung des ursprünglichen Standes des Quecksilbers; im offenen Gefäfse A aber befand sich Wasser für die niederen Temperaturen und Oel für die höheren, und ein mit seiner Kugel dicht an demjenigen Ende der gebogenen Röhre, worin der Dampf eingeschlossen war, liegendes Thermometer zum Messen der Temperaturen. Die folgende Tabelle giebt seine zahlreichen Versuche über die Elasticität des Wasserdampfes, welche zur leichteren Uebersicht gleichfalls auf Grade der acht-

Fig. 112. 113. und 114.

1 Der Ausdruck ist hier so gestellt, wie ihn Southern giebt, sollte aber eigentlich seyn: $E = e\ (1 - 0{,}1)$.

2 Phil. Tr. 1818. p. 356. Schweigg. XXVIII. 329.

zigtheil. Scale und auf Par. Zolle reducirt, aber zur Vermeidung vieler Decimalstellen nur bis auf 0,01 Z. genau sind

t	e	t	e	t	e	t	e
— 3,56	0,158	36,94	2,636	72,55	19,80	94,81	52,86
0,00	0,187	39,17	3,096	74,78	22,14	96,37	56,67
3,56	0,234	41,40	3,593	77,00	24,30	97,03	58,08
8,01	0,337	43,62	4,096	79,23	27,10	99,26	63,10
10,24	0,390	45,85	4,756	80,12	28,15	101,49	67,84
12,46	0,484	48,07	5,418	82,17	31,34	103,71	73,22
14,69	0,591	50,30	6,192	83,68	33,35	105,94	80,97
16,91	0,681	52,52	7,065	85,91	36,69	108,16	87,75
19,14	0,806	54,75	7,975	86,49	37,62	110,39	95,61
21,37	0,947	56,97	9,007	88,13	40,44	112,70	105,3
23,59	1,097	59,20	10,13	88,35	40,81	114,84	112,7
25,82	1,276	61,43	11,31	90,14	43,91	117,06	121,0
28,04	1,538	63,65	12,74	90,36	44,30	119,29	131,1
30,27	1,745	65,88	14,22	91,92	47,20	121,52	141,3
32,49	1,970	68,10	15,86	92,58	48,51	123,74	151,3
34,72	2,304	70,33	17,83	93,47	50,29	124,63	156,0

Um für diese Resultate eine allgemeine Formel zu erhalten, berücksichtigt Ure, daſs die Elasticität des Wasserdampfes bei 212° F. = 30 Z., bei 202° = $\frac{30}{1,23}$ Z., bei 92° F. = $\frac{30}{1,23 \times 1,24}$ Z. beträgt; dagegen bei 222° F. = 30 × 1,23 Z., bei 232° F. = 30 × 1,23 × 1,22 Z. engl. Noch besser aber stimmt die Rechnung mit den Versuchen zusammen, wenn man von 210° F. ausgeht, und von 10 zu 10 Graden eine Reihe bildet, welche für Temperaturen unter 210° F. stets um 0,01 wächst, über 210° aber stets um 0,01 abnimmt, im ersteren Falle aber werden 28,9 Z. e. mit der Reihe der wachsenden Factoren dividirt, im letzteren aber mit der Reihe der abnehmenden Factoren multiplicirt. Oder allgemein: wenn f die gegebene Temperatur nach F. bezeichnet, so ist $\frac{210 - f}{10} = n$ und $\frac{f - 210}{10} = n'$, wobei sowohl n als auch n′ jederzeit bejahend gefunden werden muſs. Ist dann ferner

$$r = \frac{1{,}23 + 1{,}23 + 0{,}01\,(n - 1)}{2}$$

$$r' = \frac{1{,}23 + 1{,}28 - 0{,}01\,(n - 1)}{2}$$

so ist log. e = log. 28,9 Z. — n log. r
und log. e' = log. 28,9 Z. + n' log. r'
ersteres für Grade unter, lezteres für Grade über 210. Wäre z. B. die Elasticität des Dampfes für 140° F. gesucht, so ist

$$n = \frac{210 - 140}{10} = 7;\ r = 1,26$$

also log. 28,9 = 1,46090
7. log. 1,26 = 0,70259

log. e = 0,75831 giebt 5,732 Z.
der Versuch — 5,770 Z.

diff. — 0,038 Z.

Wollte man dagegen e' für 290° suchen, so ist

$$n' = \frac{290 - 210}{10} = 8;\ r' = 1,19$$

also log. 28,9 = 1,46090
8. log. 1,19 = 0,61896

log. e' = 2,07986 giebt 120,02 Z.
der Versuch — 120,15 Z.

diff. — 0,03 Z.

Auch für 310° F. also 100° F. über dem Siedepuncte giebt die Formel e = 157,8 Z.

Dafs diese Formel gleichfalls nicht allgemein anwendbar sey, um für alle Temperaturen die Elasticitäten des Wasserdampfes zu berechnen, geht aus der Betrachtung hervor, dafs für 680° F. oder 360° C. der Werth n. log. r = 0 wird, bei welcher Temperatur daher die Elasticität des Wasserdampfes nicht gröfser seyn würde, als bei der Siedehitze, was doch mit der Erfahrung auf keine Weise übereinstimmt. Noch auffallender aber ist, dafs über diese Temperatur hinaus die Elasticitäten sehr stark abnehmen, und bald verschwindend klein werden, wie es mit der Natur der Sache unvereinbar ist. Um indefs für höhere Grade auch mit dieser Formel eine vergleichende Prüfung anzustellen, mögen die oben nach den verschiedenen Formeln berechneten Beispiele auch hier gewählt werden, nämlich 317°,5 und 580° C. oder 571°,5 und 1044° F. Für die erste ist

$$n' = 36{,}15;\ r' = 1{,}05452$$

also

$$\log.\ 28{,}9 = 1{,}46090$$
$$n' \log.\ r' = 0{,}8334310$$
$$\log.\ e' = 2{,}2943310 \text{ giebt } 197\ Z.$$

Für die zweite ist

$$n' = 83{,}4;\ r' = 0{,}818$$

also

$$\log.\ 28{,}9 = 1{,}46090$$
$$n' \log.\ r' = 0{,}8236252 - 8$$
$$\log.\ e = 0{,}2845252 - 6 \text{ giebt } 0{,}00000192\ Z.$$

Beide Gröfsen sind offenbar zu klein, und zwar so, dafs die Formel nicht einmal für die erste Temperatur mehr zulässig ist.

Unter die neuesten und schätzbarsten Arbeiten über diesen Gegenstand gehören ohne Zweifel die Versuche, welche im polytechnischen Institute in Wien durch J. Arzberger angestellt wurden, nebst der Berechnung derselben und der Prüfung der verschiedenen bekannten Formeln[1]. Insbesondere sind die Versuche deswegen wichtig, weil sie bis zu sehr hohen Temperaturen ausgedehnt wurden, woran es am meisten fehlt. Diesemnach wurde der gewöhnliche Apparat mit einer hohen Glasröhre verworfen, und ein anderer gewählt, welcher die Elasticitäten des Wasserdampfes durch seinen Druck gegen ein Ventil zu messen eingerichtet war. Eine knieförmig gebogene eiserne Röhre ABC wurde so auf drei Füfse gestellt, dafs der kürzere Schenkel lothrecht stand, das andere schräg liegende Ende aber bis nahe zu gleicher Höhe mit diesem anstieg. In den kürzeren Schenkel C war ein stählerner Ansatz DE mit einem eingeschliffenen Kugelventile geschroben, welches beim Aufspringen durch den Stift H am Abgleiten aus seiner Oeffnung gehindert wurde. Die übrigen Theile, als das Thermometer, der Hebelarm und die Waagschale zum Auflegen der Gewichte sind an sich klar, wobei schon aus der Zeichnung ersichtlich ist, dafs die Einrichtung eine genaue Messung des erzeugten Druckes zuliefs, die Ausgangsröhre B aber war mit einem kleinen Druckwerke M versehen, um vermittelst desselben Wasser in den Apparat zu pressen, die Röhre bei A mit dem Hahne

Fig. 115.

1 Jahrbücher des polyt. Institutes in Wien. I. 144.

aber diente zum Entweichen der anfänglich eingeschlossenen Luft und späterhin des Dampfes zur Regulirung der Versuche. Aus dem Querschnitte der Oeffnung des Ventils und der Belastung der Kugel desselben wurde die Elasticität der Dämpfe berechnet, diesem die Barometerhöhe zuaddirt, und auf diese Weise die ganze Elasticität in Höhen der Quecksilbersäule gefunden. Darf man hierbei die Genauigkeit der Experimente, wie billig, nicht in Zweifel ziehen, so würden nach der Angabe von Biker und in Uebereinstimmung mit sonstigen Beobachtungen die gefundenen Elasticitäten eher etwas zu niedrig, als zu groſs seyn, im Allgemeinen aber sehr groſses Vertrauen verdienen. Man weiſs nämlich, wie unglaublich schwer es hält, auch durch die sorgfältigste Arbeit aufgeschliffene Ventile zu erhalten, welche absolut genau schlieſsen, und wenn etwas Dampf entweicht, so geht die Elasticität leicht unter diejenige herab, welche der beobachteten Temperatur zugehört. Es wird indeſs noch auſserdem bemerkt, daſs zur genauen Bestimmung der Temperatur durch einen vorläufigen Versuch ohngefähr derjenige Thermometerstand gefunden sey, bei welchem das Ventil mit einer gegebenen Last beschwert, aufgeschlagen wurde, und daſs demnächst durch Eröffnen des Hahns bei A und dadurch bewirktes Ausströmen von etwas Dampf man den Thermometerstand fast stationär erhalten habe. Diese Bedingungen deuten also auf eine geringere Elasticität als diejenige, welche den Temperaturen genau zugehört. Auf der anderen Seite aber ist gleichfalls bekannt, daſs in der Regel, wie langsam und vorsichtig auch die Erwärmung betrieben wird, dennoch die Dämpfe leichter die Hitze annehmen, als die gebrauchten Thermometer, weswegen die Elasticitäten leicht höher gefunden werden, als die den Temperaturen zukommen. Indem aber diese beiden Ursachen von Fehlern einander entgegengesetzt sind, ohnehin aber versichert wird, daſs mehrere Versuche sehr unbedeutend abweichende Resultate geliefert hätten, so müssen wir die erhaltenen für einen höchst schätzbaren Beitrag zur Aufklärung und Begründung einer wichtigen physikalischen Lehre halten. Folgendes sind die im Mittel aus mehreren Versuchen erhaltenen Werthe, wenn e die Elasticität in Par. Zollen (das Verhältniſs des Pariser zum Wiener = 144 : 140,18 gesetzt) und t die Temperatur nach Graden der achtzigth. Scale bedeutet.

t	e	t	e	t	e
80,0	28,005	107,5	82,151	151	300,98
89,0	41,114	129,0	164,22	178	574,53
96,5	54,797				

Die allerneuesten Versuche über die Elasticität der Dämpfe hat Christian[1] angestellt. Sein Apparat bestand im Wesentlichen aus einem sehr genau polirten Stiefel mit einem Embolus, dessen Reibung durch ein Gegengewicht compensirt wurde, während die Kraft der ihn hebenden Dämpfe aus dem Gewichte aufgelegter Bleicylinder, nach dem Flächeninhalte desselben berechnet, sich ergab, ihre absolute Elasticität aber aus diesen Gewichten und dem gleichzeitig beobachteten Luftdrucke. Die Temperatur zeigte ein in dem Dampferzeuger befindliches Thermometer. Obgleich ein solcher Apparat keine absolut genaue Resultate geben kann, und daher auch die in den einzelnen Versuchsreichen gefundenen Gröſsen zwar in jeder Reihe für sich nach einem scheinbar richtigen Gesetze fortschreiten, die mehreren aber mit verschiedenen Kolben von ungleichen Oberflächen erhaltenen Werthe so bedeutend abweichen, daſs man nicht füglich einen mittleren aus ihnen bilden kann; so sind sie doch in so fern schätzbar, als sie die wachsende Elasticität des Wasserdampfes gerade unter denjenigen Bedingungen zeigen, welche bei den Dampfmaschinen in Anwendung kommen. Daſs mit diesem Apparate nur die Elasticitäten über dem Siedepuncte gemessen werden konnten, versteht sich von selbst, indeſs reichen sie nur bis 170° C., obgleich zu wünschen wäre, daſs Christian sie noch weiter ausgedehnt hätte, weil es eben für die höheren und sehr hohen Temperaturen so sehr an Versuchen fehlt. Die Resultate aus seiner letzten, anscheinend genauesten und umfassendsten Versuchsreihe auf Grade nach R. und Quecksilberhöhen in Par. Zollen reducirt enthält die folgende Tabelle von 88° R. bis 128°, aus der vorletzten aber für 84°,8 und 128° bis 136°, wobei es aus der oben angegebenen Ursache nicht auffallen kann, daſs bei 128° die Elasticitäten in der anfangenden zweiten Versuchsreihe erst abnehmen, und dann nach einem dem früheren ähnlichen Gesetze fortschreiten.

1 Még. ind. II. 227.

Beide sind indefs, mit den Arzbergerschen verglichen, vorzüglich in den höheren Temperaturen etwas zu grofs.

t	e	t	e	t	e
84,8	34,447	104,0	74,390	120,0	133,94
88,0	38,788	104,8	76,354	120,8	137,76
88,8	40,020	105,6	79,782	121,6	142,56
89,6	41,251	106,4	83,105	122,4	145,03
90,4	42,728	107,2	85,813	123,2	148,72
91,2	44,205	108,0	88,275	124,0	153,27
92,0	45,436	108,8	91,598	124,8	157,09
92,8	47,539	109,6	94,029	125,6	161,15
93,6	49,007	110,4	97,507	126,4	165,96
94,4	51,099	111,2	100,09	127,2	169,89
95,2	52,699	112,0	102,68	128,0	175,43
96,0	54,422	112,8	105,51	128,8	170,41
96,8	55,531	113,6	108,09	129,6	176,59
97,6	57,754	114,4	111,05	130,8	182,77
98,4	59,346	115,2	114,13	132,0	188,95
99,2	61,316	116,0	117,21	132,8	195,13
100,0	63,286	116,8	120,28	134,0	201,31
100,8	64,886	117,6	123,48	134,4	207,49
101,6	67,348	118,4	127,05	135,2	213,67
102,4	69,664	119,2	130,25	136	219,85
103,2	72,026				

Aus der Vergleichung dieser Gröfsen findet Christian, dafs die Elasticität des Dampfes beim Siedepuncte mit 1,032 multiplicirt diejenige giebt, welche zu 101° C. gehört, und dafs durch Multiplication jeder folgenden mit diesem nämlichen Coefficienten die nächstfolgende gefunden werden kann. Sind daher die Thermometergrade nach C. = n, so giebt die Formel:

$$E = 28 \times 1{,}032^{\,n-100}$$

die Elasticität des Wasserdampfes in pariser Zollen Quecksilberhöhe. Dafs diese Formel die durch Beobachtung gefundenen Werthe auch innerhalb der engen Grenzen der angestellten Versuche nicht genau giebt, fand Christian selbst, noch mehr aber mufs dieses bei höheren Wärmegraden der Fall seyn. Zur Vergleichung mögen die gewählten Temperaturen, nämlich 317°,5 und 580° C. dienen, welche erstere 22192, letztere aber 67077000 P. Z. geben, beide nach genaueren Beobachtungen und der Natur der Sache nach viel zu grofs.

Biot [1] erwähnt neben den Versuchen von Ure noch neuere von Taylor, und meint, dafs sie die Elasticitäten des Dampfes in den Temperaturen über dem Siedepuncte richtiger angeben, als die von ihm nach Dalton's Beobachtungen entworfene Formel. Werden die von Biot angegebenen Gröfsen auf Grade des achtzigtheil. Thermometers und auf Paris. Zolle reducirt, so giebt dieses folgende Gröfsen.

t	e	t	e	t	e
80	28,14	104	72,37	120	129,73
96	53,64	112	97,38	128	168,42

Die ersten Werthe stimmen mit der nachfolgenden Tabelle vollkommen überein, die beiden letzteren aber geben gleichfalls die Elasticitäten etwas gröfser an.

Andere minder wichtige und umfangende Versuche verdienen nur der Vollständigkeit wegen historisch erwähnt zu werden. Hierher gehören zwei Versuche von J. T. Mayer [2], welche er zur Prüfung des Daltonschen Gesetzes anstellte, und worin er die Elasticitäten des Wasserdampfes für 93° und 105° R. = 51,2 und 81,2 Par. Z. fand, mit Arzberger's Versuchen nur nahe übereinstimmend. Eben dieses gilt von den Angaben des Héron de Villefosse [3], welcher für 97°,8 R. 2 Atmosphären, für 111°,1 aber 3 Atm. und für 121°,3 endlich 4 Atmosphären gefunden haben will. Die erste dieser Gröfsen stimmt mit Arzbergers Versuchen genau überein, die beiden letzteren aber sind kleiner, welches um so merkwürdiger ist, als alle anderen bisher erwähnten Resultate die durch jenen gefundenen übertreffen. Ich selbst habe bei den Untersuchungen über die Dichtigkeit des Wasserdampfes [4] innerhalb der Temperaturen von — 10° bis 50° R. vermittelst der in einem gläsernen Ballon eingeschlossenen Wasserdämpfe die Elasticitäten an einem kleinen Heberbarometer gemessen, und da die Beobachtungen unter dem Eispuncte selten sind, so mögen die genaueren Resultate von — 10° bis 30° R. nach der oberen Bezeichnungsart hier Platz finden, obgleich alle auf diese Weise

1 Précis élémentaire de Phys. Par. 1824. 2 Vol. 8. II. 777.
2 Comm. de vi elast. vapor. p. 20.
3 de la Richesse minérale Par. 1819. 4. III. 87.
4 Physikalische Abhandlungen. Giessen 1816. 8. p. 195.

erhaltenen Werthe der unvermeidlichen, und hier nicht mitberechneten Capillardepression wegen zu grofs seyn müssen, wie dieses sich auch aus einer Vergleichung mit den durch Rechnung gefundenen ergiebt.

t	e	t	e	t	e	t	e
— 10	0,090	0	0,170	10	0,447	20	0,958
— 5	0,126	5	0,276	15	0,675	30	1,133

Gay-Lüssac [1] bediente sich zum Messen der Elasticitäten des Dampfes unter dem Gefrierpuncte eines Barometers, brachte über das Quecksilber eine geringe Quantität der zu prüfenden Flüssigkeit, nach Dalton's Methode, senkte dann das vorher schon in einen Winkel von etwa 80° gebogene obere Ende des Barometers in ein Gefäfs mit Eis, und verglich den Stand desselben mit einem in das nämliche Gefäfs gesenkten Controlebarometer. Nach Christian [2] fand er die Elasticität des Wasserdampfes bei 0° = 0,18684 P. Z. und bei — 15°,67 C. = 0,05 P. Z., beide Gröfsen von der nachfolgenden Tabelle bedeutend, Letztere jedoch am meisten abweichend, und zwar beide merklich zu grofs, wie sich nicht anders erwarten läfst. Es leuchtet nämlich von selbst ein, dafs auf diese Weise für so kleine Gröfsen keine genaue Resultate erhalten werden können, theils weil das nicht in die kaltmachende Mischung gesenkte, und folglich wärmere Quecksilber den gebildeten und dasselbe berührenden Dämpfen Wärme zuführt, theils weil die Capillardepression einen zu bedeutenden Einflufs hat.

Poisson [3] erwähnt, dafs Clément ihm dafs Resultat eines Versuches mitgetheilt habe, worin er die Elasticität des Wasserdampfes bei 215° C. oder 172° R. = 35 Atmosphären gefunden habe. Die Genauigkeit dieser Bestimmung läfst sich zwar nicht aus sich selbst prüfen, da die Art, wie dieselbe gefunden wurde, nicht angegeben ist. Indefs giebt die nachfolgende Tabelle für diese Temperatur nicht mehr als 18 Atmosphären, und ist also jene Bestimmung fast um das Doppelte zu grofs.

Um vergleichbare Versuche über die Elasticität verschiede-

---

1 Despretz Traité. p. 111. Biot Traité I. 286.
2 Méc. indust. II. 165.
3 Ann. C. P. XXIII. 407.

ner Dampfarten anzustellen, schlägt Gay-Lussac [1] vor, mehrere Barometerröhren mit Quecksilber, in deren oberem Raume sich kleine Quantitäten der Flüssigkeiten befinden, mit ihren unteren Enden in ein gemeinschaftliches Gefäfs mit Quecksilber zu senken, sie alle zugleich zu erwärmen, und die Depressionen des Quecksilbers zu vergleichen. Ein solcher Apparat ist ganz sinnreich ausgedacht, fänden nur nicht gegen diese Daltonsche Methode so viele von Mayer [2] und andere genugsam nachgewiesene Einwendungen statt. Ich selbst habe mich solcher Apparate oft bedient, aber nie genaue, oder auch nur unter einander hinlänglich nahe übereinstimmende Resultate damit erhalten können.

Nach dieser umfassenden Zusammenstellung der vorzüglichsten Versuche über die Elasticität überhebe ich mich der Mühe, auch noch diejenigen mitzutheilen, welche De Lüc [3], Gren [4] u. a. angestellt haben, indem sie den Siedepunct des Wassers bei abnehmendem Barometerstande auf hohen Bergen oder unter dem Recipienten der Luftpumpe beobachteten, um hieraus die Elasticität des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen unter dem eigentlichen Siedepuncte des Thermometers zu bestimmen, indem ohnehin wegen vielfach einwirkender Bedingungen auf diesem Wege keine genauen Resultate zu erhalten sind.

Aufser den schon erwähnten Formeln zur Berechnung der Elasticitäten der Wasserdämpfe sind noch einige andere angegeben, welche nicht auf eigene, sondern fremde Beobachtungen gegründet wurden. Hauptsächlich benutzte Soldner [5] die durch Dalton angestellten Versuche, und entwickelte daraus für die Elasticitäten des Wasserdampfes die Formel

$$\log. E = \log. e + 0{,}1365\ u.\ \log.\ (1{,}3802 - 0{,}00253\ u)$$

welche mit der von La Place [6] auf eben diese Versuche gegründeten, aber *nach* Soldner's erster Abhandlung erst bekannt

1 Biot Traité. I. 287.
2 De lege vis elast. vaporum in Comm. Soc. Reg. Gott. I.
3 Unters. über d. Atmosph. d. Ueb. II. §. 875.
4 N. Journ. I. 62 u. 114. Handbuch d. Naturl. p. 379.
5 G. XVII. 44 ff. XXV. 411.
6 Méc. Cel. IV. 273.

gewordenen bis auf die Constanten identisch ist. Nach La Place heifst sie nämlich

$$E = 0^m,76. (10)^{i.0,0154547 - i^2.0,0000625826},$$

oder wenn die Elasticität bei der Siedehitze e heifst, und die Formel in Logarithmen ausgedrückt wird

$$\log. E = \log. e + i\ (0,0154547 - i.\ 0,0000625826),$$

worin i die Thermometergrade der hunderttheiligen Scale über 100° bezeichnen, welche also bei der Anwendung für die Temperaturen über dem Siedepuncte positiv und unter demselben negativ zu nehmen sind. Wird diese für Grade der achtzigtheiligen Scale = u, gleichfalls über dem Siedepuncte bejahend und unter demselben verneinend zu nehmen, abgeändert [1], so heifst sie:

$$\log. E = \log. e + u\ (0,0193184 - u.\ 0,0000977853).$$

La Place sagt selbst, dafs die Formel für $-i = \infty$, aber für $+i$ nur bis = 50° oder 60° ausreicht, (welches übrigens nur heifst, dafs dann die wachsenden Elasticitäten wieder abzunehmen anfangen, denn nach La Place's Formel ist bei 277°,6 und nach Soldner's bei 230° R. über der Siedehitze die Elasticität des Wasserdampfes der des kochenden Wassers wieder gleich) und es folgt also hieraus, dafs beide Formeln nicht allgemein gültig seyn können. Von den beiden oben gewählten Temperaturen, nämlich 317°,5 und 580° C. oder 254° und 464° R. kann also nur noch die erstere nach La Place's Formel berechnet werden, und giebt die Elasticität des Wasserdampfes = 126,8 Par. Z. Die höchste Temperatur giebt nach derselben eine verschwindend kleine Elasticität, ein der Natur der Sache widerstreitendes Resultat. Beide Temperaturen geben aber nach Soldner's Formel negative Elasticitäten, welches unmöglich ist.

Poisson in seiner oben erwähnten Abhandlung über das Verhalten der Gasarten und Dämpfe überhaupt [2] findet für die Elasticität des Wasserdampfes die Formel

$$E = 0^m,76. \left(\frac{266,67 + t}{366,67}\right)^{14,65}$$

worin t die Wärmegrade nach C. bedeutet, die Elasticität E

---

1 Arzberger a. a. O.

2 Ann. C. P. XXIII. 346.

aber in Quecksilberhöhen nach Metres gefunden wird. Für Temperaturen beim Eispuncte und unter demselben stimmt diese zwar mit der Erfahrung sehr nahe überein, allein Poisson gesteht selbst, daſs sie für höhere sehr von den Resultaten der Beobachtungen abweicht. So giebt dieselbe für 170° C. eine Elasticität von 13 Atmosphären statt 8, für 215° C. aber giebt sie 54 Atmosphären statt der 35 durch Clément im Versuche gefundenen, ungeachtet auch diese letztere Angabe nach den oben angegebenen Gründen viel zu hoch ist, und die nachfolgende Tabelle hierfür nur 18 Atmosphären giebt. Unter die gehaltreichsten Untersuchungen über das Verhalten der Dämpfe überhaupt gehört diejenige, welche J. T. Mayer hauptsächlich zur Prüfung des unten zu erwähnenden Dalton'schen Gesetzes über dieselben anstellte [1]. Sie schlieſsen sich an die zuletzt genannten von Poisson an, unterscheiden sich aber von den übrigen in so fern, als die das Gesetz der Elasticität der Dämpfe ausdrückende Formel nicht bloſs aus den Resultaten der Versuche durch Interpolation gefunden wird, sondern die anderweitig bekannten Gesetze des Verhaltens der expansibelen Flüssigkeiten überhaupt dabei berücksichtigt sind. Der Gang dieser Betrachtungen ist im Wesentlichen folgender.

Man darf im Allgemeinen annehmen, daſs die Elasticitäten der Dämpfe im zusammengesetzten Verhältnisse ihrer Dichtigkeiten und Temperaturen stehen. Heiſsen also die Dichtigkeiten, Elasticitäten und Wärmen D, d; E, e; V, v, so ist $E : e = DV : dv$. Nimmt man ferner das Volumen U, so wird unter der Voraussetzung, daſs die Ausdehnungen der Wärme genau proportional sind, $U : u = V : v$, und mäſse man die Temperaturen der Dämpfe vermittelst eines Thermometers, worauf die angegebene Bedingung paſst, so würde $E : e = DU : du$ seyn. Das Quecksilberthermometer erfüllt diese Bedingung nicht genau, und nur innerhalb der beiden festen Puncte seiner Scale mit unmerklicher Abweichung; indeſs sind die Differenzen so geringe, daſs man dasselbe unbedenklich als ein richtiges Maſs der Wärme annehmen kann.

---

1 Comment. de lege vis elasticae vaporum in Comm. Soc. Gott. 809.

Zugleich ergeben die Beobachtungen, daſs die Ausdehnung der expansibelen Flüssigkeiten für einen Grad der achtzigtheil. Scale $\frac{1}{213}$ des Volumens, dasselbe als Einheit genommen, beträgt. Nennt man diese Gröſse A, und bezeichnet die Temperaturen nach R. mit T und t, so ist $E : e = D\ (1 + AT) : d\ (1 + At)$. Es wird ferner die Dichtigkeit der Dämpfe allerdings eine Function der Temperatur seyn, und zwar in der Art, daſs die erstere mit der letzteren stets wächst; allein dieses kann nicht bis ins Unendliche fortgehen, weil sonst die Dichtigkeit ins Unendliche wachsen müſste. Ferner muſs aber selbst bei 0° der Temperatur noch eine gewisse geringe Dichtigkeit statt finden, und dieselbe niemals negativ werden, weil dieses unmöglich ist. Setzt man voraus, daſs es unter 213° R. keine Wärme mehr giebt, oder daſs hierbei der absolute Nullpunct liege [1], so geschieht allen diesen Bedingungen Genüge, wenn allgemein die

Dichtigkeit $\delta = \frac{\frac{\alpha}{\gamma}}{e^{(1+At)m}}$ gesetzt wird, worin α, γ und m

durch Versuche zu bestimmen sind, e aber die Basis der hyperbolischen Logarithmen bezeichnet. Wird in diese Formel eine Constante eingeführt, so ist die Formel für die Elasticität der Dämpfe

$$E = \mu\,\alpha\ (1 + At)\,e^{\frac{-\gamma}{(1+At)\,m}}$$

und da die Versuche ergeben, daſs m = 1 seyn muſs, so ist einfacher

$$E = \mu\,\alpha\,(1 + At)\,e^{\frac{-\gamma}{1+At}}, \text{ oder}$$

$$E = \frac{\mu\,\alpha}{213}(213 + t)\,e^{\frac{-213\gamma}{213+t}}, \text{ also}$$

$$\log. E = \log. \frac{\mu\,\alpha}{213} + \log. (213 + t) - \frac{213\,\gamma \log. e}{213 + t}.$$

---

1 Es ist oben, S. *latente Wärme des Dampfes*, gezeigt, daſs der absolute Nullpunct bei — 640° C. = — 512° R. liegen müsse. Es ist merkwürdig, daſs beide sehr abweichende Bestimmungen aus der Natur der expansibelen Flüssigkeiten folgen.

und die beständigen Gröfsen hierin durch B und C bezeichnet ist endlich

$$\log. E = B + \log. (213 + t) - \frac{C}{213 + t}.$$

Mayer findet aus Schmidt's Beobachtungen die Constanten dieser Formel so, dafs sie bei Wasserdampf für Grade nach Réaumür und Quecksilberhöhen in Par. Zollen

$$\log. E = 4{,}2860 + \log. (213 + t) - \frac{1551{,}09}{213 + t}$$

wird. Arzberger bestimmt dieselben aus den Resultaten seiner Versuche bei sehr hohen Temperaturen, und findet sie

$$\log. E = 2{,}8435 + \log. (213 + t) - \frac{847{,}3}{140 + t}$$

für Grade nach R. und Quecksilberhöhen in Wiener Zollen. Die Reduction der letzteren giebt

$$\log. E = 2{,}83165 + \log. (213 + t) - \frac{847{,}3}{140 + t}.$$

Prüfen wir auch diese Formel nach den oben gewählten Temperaturen, nämlich 254° und 464° R., so giebt die erstere 2241, die letztere 18165 Z. Quecksilberhöhe, beide Gröfsen durchaus von der Art, dafs sie mit den Gesetzen der Natur sehr gut bestehen können.

L. F. Kaemtz in seiner mehrmals erwähnten Abhandlung [1] befolgt zur Auffindung einer allgemeinen Formel für die Elasticitäten der Dämpfe zwar im Allgemeinen die von Biot vorgeschlagene Methode, ändert das Verfahren indefs in mehrfacher Hinsicht ab, auf eine ähnliche Weise, als bei der Bestimmung des Gesetzes der Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten die von Biot gefundene Formel durch Paucker abgeändert ist [2]. Zuerst legt er nicht die Resultate der Dalton'schen Versuche allein zum Grunde, sondern für die niederen Temperaturen die von Dalton, Ure und Southern, für die mittleren und höheren aber die von Ure, Biker und Schmidt, giebt aber letzteren nicht gleiche Wahrscheinlichkeit, sondern nach der,

1 Schweigg. N. R. XII. 424.

2 Vergl. *Ausdehnung* I. 608.

zur Auffindung des mittleren wahrscheinlichen Werthes aus mehreren Beobachtungen geeigneten, Formel

$$m = \frac{a\alpha + b\beta + c\gamma + d\delta + \dots}{\alpha + \beta + \gamma + \delta + \dots}$$

nennt er die Beobachtungen von Biker, Schmidt und Ure a, b, c, giebt den letzteren aber einen doppelten Werth der Genauigkeit, indem $\alpha = \beta = 1$, γ aber $= 2$ genommen wird. Dieses Verfahren liefert von 0° bis 120° R. die mittleren Werthe aus den genannten Versuchsreihen, welche allerdings nach einem sehr regelmäſsigen Gesetze fortschreiten. Anstatt aber dann, wie Biot gethan hat, nur 4 Versuche zur Bestimmung der Coefficienten zu wählen, deren Fehler sich natürlich in die Formel einschleichen, und die weiter abliegenden Berechnungen um so mehr unrichtig machen müssen, je weiter sie von den berechneten Beobachtungen entfernt liegen, nimmt Kaemtz alle 16 Beobachtungen von 5 zu 5 Graden zwischen 0° und 120° zur Bestimmung der Coefficienten auf, und sucht nach vorhergegangener Reduction auf Par. Duodecimallinien für Grade der achtzigtheil. Scale die Coefficienten der Biotschen Formel

$$\log. F_n = \log. 336''' + an + bn^2 + cn^3$$

aus allen 16 mittleren Werthen der Beobachtungen nach der Methode der kleinsten Quadrate, und erhält hierdurch

$$\log. F_n = 2{,}5263393 - 0{,}01907612588\, n$$
$$- 0{,}00010296015\, n^2 - 0{,}00000004731\, n^3$$

worin n die Temperaturen nach Graden des achtzigtheiligen Thermometers, unter dem Siedepuncte bejahend, über demselben verneinend, bezeichnet. Die Berechnung der Elasticitäten nach dieser Formel bestätigt indeſs keineswegs die Meinung Biot's, daſs man nämlich im allgemeinen Ausdrucke für die Elasticitäten des Wasserdampfes der höheren, über die dritte hinausgehenden Potenzen der Temperaturen nicht bedürfe, indem zwar bis zur Siedehitze die berechneten Werthe mit den beobachteten sehr genau übereinstimmen, über diesen Punct aber die Differenzen, für die berechneten stets verneinend, regelmäſsig so stark wachsen, daſs sie für 120 Grad schon 270,3 Par. Lin. oder 22,5 Z. also 0,75 Atmosphären betragen. Deswegen nimmt Kaemtz auch noch die vierte Potenz von n mit

auf, bestimmt auf gleiche Weise die Coefficienten, und findet dann

$$\log. F_n = 2{,}5263393 - 0{,}01950230219\,n - 0{,}00007404868\,n^2 - 0{,}00000066252\,n^3 + 0{,}0000000399\,n^4.$$

Diese Formel giebt zwar allerdings geringere Differenzen, allein sie nehmen jetzt für die Berechnung über 80° R. positiv stets wachsend so zu, daſs sie bei 120° schon 128 Par. Lin., also 10,65 Z. betragen, mithin nahe 0,4 Atmosphären.

Um auch diese Formel für die schon mehr in Rechnung genommenen höheren Temperaturen zu prüfen, sey t und t′ = 254° und 464° R., wonach also n = — 174 und — 384 wird. Die erstere Temperatur giebt die Elasticität des Dampfes nahe genau = 5572700000 Par. Z. Die letztere aber giebt den Logarithmus der Elasticität in Zollen = 113,9443581. Diese Formel führt also zwar nicht auf geometrisch erweisliche Ungereimtheiten, hat auch nicht den Fehler, daſs die Elasticitäten nach derselben wieder abnehmen, und zuletzt verschwindend klein werden, wie nach der von Biot gefundenen, allein dennoch zeigen die angestellten Berechnungen, daſs die schon von 80° bis 120° stets zunehmenden positiven Differenzen der Rechnungen und Beobachtungen mit der Zunahme der Temperatur so ins Unermeſsliche wachsen, daſs man unmöglich das richtige Gesetz des Verhaltens der Wasserdämpfe durch sie ausgedrückt glauben kann.

Endlich verdient noch erwähnt zu werden, daſs einige annehmen, die Elasticität der Dämpfe werde verdoppelt, wenn die Temperatur um eine gewisse Menge Grade wächst, man möge ausgehen, von welcher Temperatur man wolle. Wäre dieses wirklich der Fall, so würde die Formel für die Elasticität der Dämpfe seyn

$$E = H \times 2^{\frac{z-100}{s}},$$

wenn H die Barometerhöhe, z die gegebene Temperatur in Centesimal-Graden und s diejenige Menge der Grade nach der nämlichen Scale bezeichnet, welche eine Verdoppelung der Elasticität hervorbringt. Nach Evans soll s = 16° $\frac{2}{3}$ C. nach Chri-

STIAN [1] aber $= 22°$ C. seyn. Bringt man die Formel auf den Ausdruck

$$E = H \times 10^{0{,}30103 \frac{z'}{s}}$$

wobei z' vom Siedepuncte an gezählt wird, so kommt sie mit der von LA PLACE gegebenen nahe überein, und es wird für $s = 16°\frac{2}{3}$ C.

$$E = H \times 10^{0{,}0180618\, z'},$$

für $s = 22°$

$$E = H \times 10^{0{,}01364734\, z'};$$

allein MARESTIER [2], welcher diese Formel zu einem andern Zwekke benutzt, findet sie nicht mit der Erfahrung übereinstimmend, und eben dieses folgt genugsam aus den bisher angestellten Untersuchungen, so dafs also eine weitere Widerlegung dieses aufgestellten Gesetzes überflüssig seyn würde [3].

Ueberblicken wir nunmehro die sämmtlichen bisher untersuchten Formeln, und fragen, welche von ihnen das Gesetz der Elasticitäten des Wasserdampfes für alle Temperaturen darzustellen im Stande sind, so fallen einige derselben von selbst weg, weil sie auf Ungereimtheiten führen. Dahin gehört die von PRONY und SOLDNER, und für Temperaturen unter 0° R. die von SCHMIDT; andere sind von der Art, dafs sie die Elasticitäten in höheren Graden wieder abnehmen lassen, was zwar nicht geradezu ungereimt genannt werden kann, allein so gegen alle denkbare Wahrscheinlichkeit streitet, dafs es auf keine Weise annehmbar ist, und dieses um so weniger, als die höchst geringe Elasticität des Wasserdampfes schon bei Temperaturen statt finden müfste, welche ohne Zweifel in der Natur, namentlich beim Verpuffen des Knallgases vorkommen. Hierhin gehört die von BIOT, LA PLACE und URE. Noch andere lassen die Elasticitäten bei zunehmenden hohen Temperaturen so sehr wachsen, wie dieses nach wirklichen Beobachtungen der Fall nicht ist, und mit höchster Wahrscheinlichkeit bei Temperaturen, welche aufser den Grenzen bisheriger directer Beobachtungen

1 Méc. ind. II. 240.
2 a. a. O. p. 226.
3 Vergl. oben: *Latente Wärme des Dampfes.*

liegen, noch minder statt finden kann. Hierhin gehört vor allen Dingen die von Kaemtz, weit weniger aber die von Schmidt und noch weniger die von Southern. Die einzige Formel also, welche bloſs in dem Falle auf unmögliche Werthe führen würde, wenn man annehmen wollte, es fände unter — 213° R. noch Wärme statt, oder der absolute Nullpunct läge noch tiefer als bei dieser Temperatur, welche übrigens für die höheren und höchsten bis jetzt in den Versuchen angewandten Temperaturen mit directen Beobachtungen am genauesten übereinstimmende, und auch für noch höhere Temperaturen keine unwahrscheinlichen Resultate giebt, ist die von Mayer. Dabei ist nicht zu übersehen, daſs alle Formeln für die Temperaturen innerhalb der festen Puncte des Thermometers, und, mit Ausnahme der Schmidt'schen, auch für Grade unter dem Gefrierpuncte solche Werthe der Elasticitäten geben, welche mit den Beobachtungen sehr genau übereinstimmen. Es dringt sich daher von selbst die Frage auf, ob Beobachtungen bei niederen, mittleren und minder hohen Temperaturen überhaupt das Gesetz des Wachsens der Elasticitäten des Wasserdampfes so angeben, daſs auf dieselben eine überhaupt sowohl für die niedrigsten als auch höchsten Temperaturen passende Formel gegründet werden kann? Für die niederen und niedrigsten Temperaturen kann die Frage wahrscheinlich bejahet werden, weil in diesen der Dampf seine Natur nicht ändert, für die höheren und höchsten aber glaube ich dieselbe verneinen zu müssen. Wäre dieses möglich, so müſste die viergliedrige Formel von Kaemtz gewiſs zum Ziele führen, allein da diese noch allem Anscheine nach sehr weit davon entfernt ist, so kann man billig fragen, wie viele Glieder man in die Formel aufnehmen müſste, um das Gesetz des Fortganges vollkommen genau auszudrücken? Ohne Zweifel eine groſse Menge, wobei die Werthe der letzten mit zunehmender Temperatur erst von Einfluſs wären, und weil diese überhaupt stets nur aus den Beobachtungen gefunden werden könnten, so würde allezeit die Formel nicht über die Grenze der wirklichen Beobachtungen reichen, und somit der Forderung nicht Genüge geleistet werden. Mayer [1] hat dieses schon angegeben, allein

1 a. a. O. p. 27.

mit der Ursache, woraus er diese Eigenthümlichkeit abzuleiten geneigt ist, nämlich weil der höhere Druck der schon gebildeten Dämpfe der neuen sich bildenden Wasserpartikeln ein stets wachsendes Hindernifs der Verwandlung in Dampf entgegensetze, bin ich nicht einverstanden, indem ich den Grund vielmehr darin suchen möchte, dafs mit stets wachsenden sowohl Drucke als auch Dichtigkeit der Dämpfe diese letzteren einem veränderten Aggregatzustande stets näher kommen, oder mit andern Worten, sie nähern sich stets mehr dem tropfbar flüssigen Wasser, bei welchem das Gesetz der Ausdehnung und Elasticität ein ganz anderes ist, als bei den Dämpfen. Indem alle Naturerscheinungen auf nothwendigen Gesetzen beruhen, so liefse sich auch diese, anscheinend davon abweichende, vielleicht nach La Place's oben mitgetheilten Vorstellung von der Natur der Dämpfe auf den Conflict der gegenseitigen Anziehung und Abstofsung der Elemente der Dämpfe und der Wärmetheilchen zurückführen, wenn dieses nicht auf zu viel Hypothetisches hinausliefse.

Da es in mehrfacher Beziehung höchst wichtig ist, die Elasticitäten des Wasserdampfes sowohl bei niederen als auch bei höheren Temperaturen zu kennen, zur Berechnung derselben aber die von Mayer gegebene Formel sich vorzüglich geeignet zeigt, für niedere und mittlere Grade des Thermometers aber die Beobachtungen mit denen nach dieser Formel erhaltenen so genau übereinstimmende Resultate geben, so enthält die nachstehende Tabelle diese Elasticitäten nach Mayer's Formel sowohl für Pariser Zolle als auch für Atmosphären nach Graden der achtzigtheiligen Scale berechnet.

Die Constanten in dieser Formel sind blofs aus den Resultaten der Versuche von Arzberger entnommen, welche nur mit denen von Watt erhaltenen übereinstimmen, von allen übrigen aber mehr oder weniger in so fern abweichen, dafs sie die Elasticitäten des Dampfes geringer angeben. Man darf also billig fragen, warum nicht lieber aus diesen und andern genauen Versuchen die mittleren Werthe genommen sind. Es schien mir indefs rathsamer, mich auf die Resultate der Wiener Versuche allein zu beschränken, theils weil diese allerdings auf einen hohen Grad der Genauigkeit Ansprüche haben, theils weil sie bei weitem bis zu den höchsten Temperaturen ausgedehnt sind, und

endlich weil nach der von den übrigen Beobachtern gebrauchten Methode die Elasticitäten leicht zu groſs gefunden werden, die Abweichungen im Allgemeinen verhältniſsmäſsig nicht bedeutend sind, und es in der Anwendung, namentlich auf die Dampfmaschinen besser ist, wenn die Theorie die Elasticitäten etwas zu geringe als etwas zu groſs angiebt. Uebrigens werden die sämmtlichen Wiener Beobachtungen zugleich mit der dem Siedepuncte des Thermometers zugehörigen Elasticität, so weit sie auch von einander abstehen, durch Rechnung nach dieser Formel so genau ausgedrückt, als man nur immer erwarten kann.

t	Elastic. P. Zolle	t	Elastic. P. Zolle	t	Elastic. P. Zolle
—50	0,0000	2	0,1038	30	1,7106
45	0,0001	1	0,1154	31	1,8368
40	0,0004	0	0,1282	32	1,9709
35	0,0013	+ 1	0,1422	33	2,1130
30	0,0025	2	0,1575	34	2,2636
29	0,0029	3	0,1741	35	2,4231
28	0,0034	4	0,1923	36	2,5921
27	0,0040	5	0,2122	37	2,7707
26	0,0047	6	0,2337	38	2,9594
25	0,0055	7	0,2571	39	3,1589
24	0,0064	8	0,2825	40	3,3694
23	0,0074	9	0,3101	41	3,5915
22	0,0086	10	0,3398	42	3,8255
21	0,0099	11	0,3721	43	4,0723
20	0,0114	12	0,4069	44	4,3320
19	0,0131	13	0,4445	45	4,6054
18	0,0150	14	0,4850	46	4,8930
17	0,0172	15	0,5286	47	5,1952
16	0,0196	16	0,5755	48	5,5128
15	0,0224	17	0,6260	49	5,8463
14	0,0255	18	0,6801	50	6,1963
13	0,0289	19	0,7383	51	6,5634
12	0,0328	20	0,8500	52	6,9483
11	0,0371	21	0,8672	53	7,3514
10	0,0418	22	0,9386	54	7,7736
9	0,0471	23	1,0149	55	8,2158
8	0,0530	24	1,0963	56	8,6784
7	0,0595	25	1,1833	57	9,1623
6	0,0667	26	1,2761	58	9,6679
5	0,0747	27	1,3747	59	10,196
4	0,0835	28	1,4799	60	10,748
3	0,0934	29	1,5917	61	11,323

t	Elastic. P. Zolle	Atmosph.	t	Elastic. P. Zolle	Atmosph.
62	11,924	—	106	77,827	2,7795
63	12,551	—	107	80,620	2,8793
64	13,204	—	108	83,489	2,9817
65	13,884	—	109	86,437	3,0870
66	14,593	—	110	89,464	3,1951
67	15,331	—	111	92,576	3,3063
68	16,099	—	112	95,770	3,4203
69	16,598	—	113	99,051	3,5375
70	17,729	—	114	102,42	3,6577
71	18,592	—	115	105,87	3,7811
72	19,489	—	116	109,42	3,9077
73	20,422	—	117	113,05	4,0375
74	21,389	—	118	116,78	4,1707
75	22,393	—	119	120,60	4,3072
76	23,435	—	120	124,52	4,4472
77	24,516	—	121	128,54	4,5907
78	25,635	—	122	132,65	4,7376
79	26,797	—	123	136,87	4,8883
80	28,000	1,0000	124	141,19	5,0426
81	29,246	1,0444	125	145,62	5,2006
82	30,535	1,0905	126	150,14	5,3623
83	31,870	1,1382	127	154,78	5,5279
84	33,252	1,1876	128	159,53	5,6973
85	34,681	1,2386	129	164,39	5,8710
86	36,158	1,2913	130	169,35	6,0484
87	37,685	1,3459	131	174,44	6,2299
88	39,264	1,4023	132	179,64	6,4156
89	40,894	1,4605	133	184,96	6,6056
90	42,577	1,5206	134	190,39	6,7995
91	44,315	1,5827	135	195,95	6,9981
92	46,110	1,6468	136	201,63	7,2010
93	47,961	1,7129	137	207,43	7,4083
94	49,871	1,7811	138	213,36	7,6201
95	51,841	1,8514	139	219,42	7,8363
96	53,870	1,9239	140	225,61	8,0573
97	55,964	1,9987	141	231,93	8,2830
98	58,119	2,0757	142	238,38	8,5135
99	60,341	2,1550	143	244,96	8,7486
100	62,628	2,2367	144	251,69	8,9890
101	64,985	2,3209	145	258,55	9,2340
102	67,409	2,4075	146	265,56	9,4842
103	69,905	2,4966	147	272,72	9,7393
104	72,472	2,5883	148	279,99	9,9996
105	75,112	2,6826	149	287,43	10,265

t	Elastic. P. Zolle	Atmosph.
150	295,01	10,536
151	302,74	10,812
152	310,62	11,094
153	318,65	11,380
154	326,85	11,673
155	335,20	11,971
156	343,70	12,275
157	352,37	12,584
158	361,19	12,900
159	370,18	13,220
160	379,34	13,548
161	388,66	13,881
162	398,15	14,219
163	407,82	14,565
164	417,66	14,916
165	427,67	15,274
166	437,87	15,639
167	448,26	16,009
168	458,78	16,385
169	469,50	16,768
170	480,42	17,158
171	491,52	17,554
172	502,82	17,958
173	514,29	18,368
174	525,96	18,784
175	537,82	19,208
176	549,88	19,638
177	562,13	20,076
178	574,59	20,521
179	587,26	20,973
180	600,12	21,432
181	613,18	21,899
182	626,45	22,373
183	639,93	22,885
184	653,60	23,342
185	667,50	23,839
186	681,62	24,343
187	695,95	24,855
188	710,49	25,375
189	725,27	25,902
190	740,25	26,437
191	755,46	26,980
192	770,90	27,532
193	786,57	28,092
194	802,45	28,659
195	818,56	29,234
196	834,91	29,818
197	851,51	30,411
198	868,34	31,011
199	885,40	31,621
200	902,69	32,239
205	992,86	35,459
210	1089,3	38,902
215	1192,1	42,576
220	1301,8	46,491
225	1418,3	50,651
230	1541,9	55,067
235	1672,7	59,745
240	1811,4	64,692
245	1957,7	69,917
250	2111,8	75,422
255	2274,3	81,223
260	2444,9	87,317
265	2624,1	93,717
270	2812,6	100,45
275	3008,7	107,45
280	3214,5	114,80
285	3429,5	122,48
290	3653,9	130,49
295	3887,7	138,85
300	4131,3	147,55
305	4384,7	156,60
310	4647,9	166,00
315	4921,8	175,66
320	5205,0	185,90
325	5499,0	196,39
330	5808,4	207,26
335	6118,4	218,51
340	6444,2	230,15
345	6780,6	242,16
350	7128,2	254,58
355	7486,5	267,38
360	7856,0	280,57
365	8236,8	294,17
370	8628,8	308,17
375	9032,1	322,57
380	9446,7	337,58
385	9873,0	352,61

t	Elastic. P. Zolle	Atmosph.	t	Elastic. P. Zolle	Atmosph.
390	10311	368,24	650	49560	1770,0
395	10760	384,28	660	51706	1846,6
400	11221	400,76	670	53896	1924,9
405	11694	417,64	680	56132	2004,7
410	12178	434,94	690	58405	2085,9
415	12675	452,68	700	60734	2169,1
420	13183	470,83	710	63100	2253,6
425	13703	489,40	720	65509	2339,6
430	14235	508,41	730	67959	2427,1
435	14780	527,84	740	70453	2516,1
440	15335	547,68	750	72989	2606,7
445	15904	567,99	760	75565	2698,7
450	16484	588,71	770	78181	2792,2
455	17076	609,86	780	80839	2887,1
460	17681	631,45	790	83535	2983,4
465	18297	653,48	800	86262	3081,2
470	18926	675,91	810	89049	3180,3
475	19567	698,81	820	91865	3280,9
480	20219	722,12	830	94717	3382,7
485	20885	745,88	840	97609	3486,0
490	21562	770,06	850	100540	3590,5
495	22251	794,68	860	103500	3696,5
500	22952	819,73	870	106500	3803,7
510	24393	871,17	880	109540	3912,3
520	25880	924,27	890	112620	4022,1
530	27417	979,15	900	115730	4133,1
540	29001	1035,7	910	118870	4245,4
550	30634	1094,1	920	122050	4358,9
560	32313	1154,1	930	125270	4473,7
570	34043	1215,8	940	128510	4589,8
580	35819	1279,2	950	131790	4706,8
590	37644	1354,4	960	135110	4825,8
600	39518	1411,2	970	138450	4944,7
610	41430	1479,7	980	141830	5065,4
620	43399	1550,0	990	145240	5187,3
630	45404	1621,5	1000	148680	5310,1
640	47459	1695,0			

Rücksichtlich der Dämpfe von anderen Flüssigkeiten hat insbesondere das von Dalton aufgestellte Gesetz Aufsehn gemacht. Aus seinen Versuchen mit Schwefeläther, Alkohol, flüssigem Ammoniak, flüssigem salzsaurem Kalke, schweflicher Säure und Quecksilber will er nämlich gefunden haben, *dafs allgemein für gleiche Temperaturen über oder unter dem Siede-*

puncte den Dämpfen aller Flüssigkeiten gleiche Elasticitäten zugehören[1], und Biot[2] zeigt ausführlich, wie genau Rechnung und Versuche mit einander zur Bestätigung dieses Gesetzes übereinstimmen. Allein die Art der Versuche Dalton's wurde gleich anfangs durch Parrot[3] verdächtig gemacht, nachher aber zeigte J. T. Mayer[4] ausführlich die Unzulänglichkeit seines Apparates und die Ungenauigkeit seiner Resultate durch den Mangel an Uebereinstimmung mit anderen, auf eine weit zweckmäſsigere Weise erhaltenen. Späterhin bewies auch Ure[5], daſs dieses Gesetz mit seinen eigenen genauen Versuchen durchaus nicht übereinstimme, und eben dieses Resultat erhielt Despretz[6] gleichfalls bei seinen neuesten Untersuchungen über diesen Gegenstand. Eben so wenig fand Ure ein anderes von Dalton aufgestelltes Gesetz bestätigt[7], daſs nämlich die Elasticität der Dämpfe in einer geometrischen Progression wachsen soll, wenn die Scalen der Quecksilberthermometer nach Dalton's Hypothese getheilt sind. Daſs diese letztere mit der Ausdehnung des Quecksilbers nicht vereinbar sey, ist oben gezeigt[8], und daſs die Elasticitäten des Wasserdampfes eine solche Reihe nicht befolgen, geht aus den eben angestellten Untersuchungen genugsam hervor. Irgend ein anderes allgemeines Gesetz über die Elasticitäten der verschiedenen Dämpfe anzunehmen, dazu berechtigen uns die bisherigen Versuche nicht, auſser daſs wir ihr Verhalten im Allgemeinen für ähnlich halten müssen, wie schon aus der Natur der Sache an sich folgt, und auch daraus hervorgeht, daſs die Elasticitäten derselben nach den nämlichen Formeln mit veränderten Coefficienten berechnet werden können, ohne daſs die auf diese Weise erhaltenen Werthe von den durch Erfahrung gefundenen merklich abweichen.

---

1 Mem. of the literary and philos. Soc. of Manchester V. 550.
2 Traité I. 280.
3 G. XVII. 82.
4 a. a. O.
5 Phil. Tr. 1818. 361.
6 Ann. C. P. XVI. 105.
7 Phil. Tr. 1818. p. 366.
8 Vergl. *Ausdehnung* I. 597.

B. Alkoholdampf.

In sofern es also kein allgemeines Gesetz für die Elasticitäten der Dämpfe giebt, müssen diese durch Versuche einzeln gefunden werden, welche indefs bis jetzt noch nicht auf alle Flüssigkeiten ausgedehnt sind, weil keineswegs alle ein gleiches Interesse erregen. Unter die vorzüglich mit untersuchten Flüssigkeiten gehört der *Alkohol*, welchen schon Ziegler[1] mit in seine Versuche zog. Allein da die bei steigenden und abnehmenden Temperaturen erhaltenen Quecksilberhöhen so grofse Unterschiede zeigen, so dürfen sie als minder genau übergangen werden. Weit bedeutender sind die durch Betancourt erhaltenen Resultate[2], welche daher zur Vergleichung hier aufgenommen werden mögen. Auch hierin bezeichnet t die Temperaturen nach R. und e die Elasticitäten in Quecksilberhöhen nach Par. Zollen.

t	e	t	e	t	e	t	e
3	0,05	25	2,32	47	10,80	69	37,20
4	0,09	26	2,52	48	11,50	70	39,40
5	0,12	27	2,75	49	12,20	71	41,30
6	0,18	28	2,95	50	12,35	72	43,50
7	0,25	29	3,20	51	13,75	73	46,00
8	0,32	30	3,40	52	14,60	74	48,10
9	0,38	31	3,70	53	15,50	75	50,20
10	0,45	32	4,00	54	16,40	76	52,60
11	0,50	33	4,30	55	17,65	77	55,30
12	0,62	34	4,60	56	18,85	78	57,90
13	0,72	35	4,95	57	20,00	79	61,00
14	0,82	36	5,28	58	21,20	80	63,80
15	0,93	37	5,55	59	22,30	81	66,90
16	1,02	38	6,00	60	23,70	82	69,80
17	1,12	39	6,45	61	24,80	83	73,40
18	1,25	40	6,90	62	26,10	84	76,90
19	1,38	41	7,35	63	27,40	85	79,60
20	1,52	42	7,82	64	28,90	86	83,60
21	1,65	43	8,37	65	30,60	87	87,10
22	1,80	44	8,92	66	32,00	88	90,80
23	1,95	45	9,48	67	33,50	89	95,00
24	2,10	46	10,15	68	35,10	90	98,00

1 de Digest. Papini. p. 43.

2 Mém. sur la force expansive de la vapeur cet. à Par. 1792. 4. Prony neue Architect. Hydr. I. 606. Vollständiger in Journ. de l'école polyt. Cah. II. daraus in Gren N. J. IV. 215.

Watt [1] gebrauchte seinen oben beschriebenen Apparat auch zu einigen Versuchen mit Alkohol, welche indeſs nicht mit vorzüglicher Sorgfalt angestellt sind, und auch in sofern nicht für bedeutend gelten können, als die Reinheit des gebrauchten Weingeistes nicht angegeben ist. Die erhaltenen Resultate nach Graden R. und Par. Zollen sind folgende:

t	e	t	e	t	e	t	e
0,89	0,20	39,11	6,52	50,89	14,01	58,67	21,00
3,56	0,87	41,11	7,92	51,78	14,87	59,56	21,70
15,56	1,77	42,67	8,83	52,89	15,00	60,00	21,82
23,11	2,62	44,44	9,65	53,55	16,62	60,44	23,75
28,00	3,46	45,78	10,42	54,67	17,74	60,89	24,60
31,56	4,42	47,56	11,80	55,56	18,35	61,78	25,50
34,22	5,25	49,62	12,10	56,89	19,40		
36,44	6,10	49,78	13,10	58,00	20,60		

Auch Robison [2] stellte Versuche an über die Elasticität der Alkoholdämpfe, gegen welche aber die nämliche Erinnerung statt findet. Folgende sind die von ihm erhaltenen, auf gleiche Weise reducirten Resultate.

t	e	t	e	t	e	t	e
0,00	0,00	21,33	1,75	48,00	11,40	74,67	51,62
3,56	0,09	30,22	3,54	56,89	20,51	83,56	73,65
12,44	0,75	39,11	6,44	65,78	31,84	92,45	107,88

G. G. Schmidt [3] fand in seinen Versuchen, welche er mit dem oben beschriebenen Ciarcy'schen Dampfbarometer anstellte, folgende Elasticitäten des Alkoholdampfes für t Grade nach R. in Par. Zollen

t	e	t	e	t	e	t	e
—5	0,13	15	1,490	35	5,744	55	18,04
0	0,35	20	2,105	40	7,805	60	23,42
+5	0,49	25	3,036	45	10,42	65	30,03
10	0,80	30	4,158	50	13,85	70	38,25

Mit Uebergehung derjenigen Versuche, welche Achard [4] bekannt gemacht hat, mögen hier diejenigen kurz erwähnt werden, welche ich selbst [5] angestellt habe,

1 Robison Mech. Phil. II. 33.
2 Ebend. p. 35.
3 Naturl. I. 296.
4 Mém. de Berlin. 1782. 1783.
5 Physical. Abh. I. 251.

t	−5°	0°	5°	10°	15°	20°
e	0,22	0,34	0,49	0,80	1,22	1,43.

Der hierzu gebrauchte Alkohol war absoluter, von spec. Gew. = 0,792 bei 16° R. Temperatur.

Ure bediente sich zu seinen Versuchen mit Alkohol des nämlichen Apparates, womit er die Elasticitäten des Wasserdampfes gemessen hatte [1]. Das spec. Gew. des angewandten Alkohols war 0,813, und folglich war derselbe kein absoluter, sondern etwas wasserhaltig. Die von ihm erhaltenen Resultate, auf Grade nach R. und Par. Zolle reducirt sind folgende:

t	e	t	e	t	e	t	e
0,00	0,38	34,22	5,75	65,78	31,85	90,67	96,50
3,56	0,53	36,89	6,75	66,78	33,75	91,56	100,0
5,78	0,66	39,11	7,60	68,12	36,40	92,44	104,2
8,00	0,75	41,33	8,70	70,22	40,20	94,22	110,7
10,22	0,95	43,56	10,00	71,68	43,14	95,56	114,3
12,44	1,18	45,78	11,50	72,98	46,75	96,00	118,0
14,67	1,40	48,00	13,00	74,67	49,61	96,50	122,3
16,89	1,65	50,22	15,00	76,88	56,30	96,89	123,2
19,11	1,95	52,44	17,00	79,11	61,00	97,78	128,6
21,33	2,30	54,67	19,00	80,89	65,02	98,70	134,7
23,56	2,78	56,89	21,20	81,78	68,00	100,57	142,2
25,78	3,20	59,11	24,00	83,56	73,61	101,33	145,2
28,00	3,65	61,33	26,50	85,71	82,00	102,22	151,4
30,22	4,25	62,67	23,15	88,00	87,36	103,11	155,8
32,44	4,95	64,90	30,85	88,89	91,00		

Ure wendet seine, für die Elasticität der Wasserdämpfe gefundene Formel auch auf diese Resultate an. Der Siedepunct ist nämlich bei 174° F., und diesem gehört eine Quecksilberhöhe von 30 Z. e. an. Geht man statt dessen, wie oben bei der Formel für die Wasserdämpfe von 170° F. und 28,3 Z. Quecksilberhöhe aus, dividirt diese Gröfse durch diejenige, welche zu 160° F. gehört, nämlich 22,46, so ist $\frac{28,3}{22,46} = 1,26$ diejenige Gröfse, um welche die Elasticität der Alkoholdämpfe für 10° F. wächst oder abnimmt; und welche also um 0,011 wachsend oder abnehmend die Gröfse 28,3 dividiren oder mul-

---

1 Phil. Tr. 1818. p. 359.

tipliciren mufs, wenn man die Elasticität von 10 zu 10 Graden F. finden will. So ist z. B.

für 180° F.; 28,3 × (1,26 — 0,011) = 35,35;

für 190° F. ist (28,3 × 1,26 — 0,011)

× (1,26 — 0,022) = 43,76; und eben so ist für 150° F.; (28,3 : 1,26) : (1,26 + 0,011) = 17,7 u. s. w. welches indefs nur bis so weit nahe genau ausreicht, als die Beobachtungen gehen.

Eine Vergleichung dieser verschiedenen Resultate ergiebt, dafs die Versuche von Schmidt und Ure sehr genau mit einander übereinstimmen, jedoch sind die durch den letzteren gefundenen Werthe meistens etwas gröfser, als diejenigen, welche jener erhielt. Meine eigenen Beobachtungen stimmen vollkommen mit den durch Ure gefundenen Elasticitäten überein, aufser die für 20° R. gefundene, welche offenbar fehlerhaft ist. Robison's Resultate haben das Eigenthümliche, dafs das für 66°,78 R. völlig genau mit dem durch Ure gefundenen übereinstimmen, dann aber sind alle den niedrigern Temperaturen, als diese genannte ist, zugehörenden Elasticitäten zu klein, alle den höheren aber zu grofs, wenn wir die von Ure gefundenen als die richtigen ansehen. Die durch Watt gefundenen Elasticitäten stimmen in den niederen Temperaturen sehr gut mit den durch Schmidt gefundenen überein, bleiben aber in den höheren hinter diesen, und also noch mehr hinter denen von Ure zurück. Im Ganzen sind indefs die Differenzen dieser sämmtlichen Versuche nicht so bedeutend, dafs in der zu grofsen Abweichung derselben von einander ein Hindernifs liegen sollte, ein allgemeines Gesetz auch für diese Dämpfe aufzusuchen [1]. Am besten wird dieses gleichfalls durch die von J. T. Mayer für die Dämpfe überhaupt aufgefundene Formel ausgedrückt, wenn man die Constanten aus den Beobachtungen bestimmt. Die folgende Tabelle enthält daher unter e die hiernach berechneten Elasticitäten, unter e′ die durch Ure aus Beobachtungen

---

1 v. Yelin hat den Siedepunct des absoluten Alkohol von 0,791 sp. G. bei 26,6805 Barom. 61°,8 R. gefunden, welches den Beobachtungen Ure's sehr nahe kommt. Nach der berechneten Tabelle liegt derselbe der gewöhnlichen Bestimmung nach zwischen 63° bis 64° R. S. Kastner's Archiv III. 377.

gefundenen nach einer einfachen Interpolation zur Vermeidung weitläuftiger Rechnungen, beides nach Graden der achtzigtheil. Scale = t und in Pariser Zollen der Quecksilberhöhe, a endlich giebt die Zahl der Atmosphären an, denen dieser Druck gleichkommt [1].

t	e	e′	a	t	e	e′	a
— 30	0,0153	—	—	28	3,1265	3,65	0,112
— 25	0,0274	—	—	29	3,3529	3,80	0,120
— 20	0,0477	—	—	30	3,5938	4,00	0,128
— 15	0,0808	—	—	31	3,8499	4,13	0,138
— 10	0,1336	—	—	32	4,1221	4,25	0,147
— 5	0,2157	0,13	—	33	4,4110	4,62	0,158
0	0,3406	0,35	—	34	4,7068	5,25	0,168
1	0,3723	0,39	—	35	5,0431	5,72	0,180
2	0,4066	0,43	—	36	5,3881	6,25	0,192
3	0,4437	0,48	—	37	5,7505	6,58	0,205
4	0,4837	0,56	—	38	6,1410	6,75	0,219
5	0,5270	0,62	—	39	6,5514	7,20	0,234
6	0,5738	0,68	—	40	6,9960	7,62	0,250
7	0,6241	0,71	—	41	7,4445	8,00	0,266
8	0,6785	0,75	—	42	7,9483	8,48	0,284
9	0,7370	0,83	—	43	8,4431	9,00	0,302
10	0,8000	0,92	—	44	8,9850	10,25	0,321
11	0,8678	0,97	—	45	9,5578	10,83	0,341
12	0,9406	1,02	0,034	46	10,162	11,20	0,362
13	1,0190	1,20	0,036	47	10,799	11,88	0,385
14	1,1027	1,37	0,039	48	11,472	13,00	0,409
15	1,1929	1,43	0,043	49	12,180	13,78	0,435
16	1,2895	1,50	0,046	50	12,937	14,21	0,462
17	1,3931	1,68	0,049	51	13,714	15,30	0,489
18	1,5040	1,75	0,054	52	14,542	16,56	0,519
19	1,6224	1,88	0,058	53	15,414	17,41	0,550
20	1,7495	1,96	0,062	54	16,331	18,50	0,583
21	1,8895	2,00	0,067	55	17,295	19,85	0,617
22	2,0301	2,35	0,072	56	18,308	20,00	0,653
23	2,1848	2,50	0,078	57	19,374	21,11	0 691
24	2,3499	2,86	0,084	58	20,493	22,30	0,731
25	2,5260	2,98	0,090	59	21,668	23,60	0,773
26	2,7136	3,20	0,097	60	22,989	24,70	0,821
27	2,9135	3,41	0,104	61	24,195	25,87	0,864

1 Für die höchsten Temperaturen sind die berechneten Elasticitäten beträchtlich gröfser als die beobachteten, welches entweder eine Folge der unrichtigen Bestimmung der Constanten ist, oder davon, daſs der von Ure gebrauchte Alkohol kein absoluter war.

t	e	e'	a	t	e	e'	a
62	25,552	27,80	0,912	74	47,797	48,25	1,707
63	26,975	28,75	0,963	75	50,244	51,00	1,794
64	28,467	29,80	1,016	80	64,768	63,25	2,313
65	30,030	30,90	1,072	85	81,304	78,61	2,903
66	31,666	32,00	1,130	90	102,24	94,50	3,650
67	33,380	33,85	1,192	95	127,65	112,3	4,550
68	35,174	35,90	1,256	100	158,30	138,7	5,650
69	37,051	37,75	1,323	120	351,73	—	12,56
70	39,014	39,80	1,393	140	716,35	—	25,58
71	41,161	41,25	1,470	160	1355,9	—	48,40
72	43,220	43,54	1,543	180	2411,7	—	86,10
73	45,455	46,50	1,623	200	4066,9	—	145,2

C. Schwefelätherdampf.

Ueber die Elasticität des Aetherdampfes sind mir, aufser denen von Ziegler [1], keine ältere Versuchsreihen bekannt, dagegen verschiedene einzelne Beobachtungen für mittlere Temperaturen. Die wichtigsten derselben, in einer Uebersicht zusammengestellt, sind folgende:

t. R.		e. Par. Z.		Beobachter
10°,0	—	12,500	—	Van Marum [2]
12,0	—	11,562	—	Gay-Lüssac [3]
14,5	—	13,110	—	Biot [4]
17,0	—	14,000	—	Dalton [5]
18,0	—	16,750	—	Saussüre [6]
9,12	—	3,154	—	Despretz
9,65	—	4,891	—	Despretz [7].

Alle diese Versuche wurden auf gleiche Weise angestellt, nämlich vermittelst einer geringen Quantität Schwefeläthers, welcher in das torricellische Vacuum gebracht war. Der von Despretz gebrauchte Apparat wird unten bei der Untersuchung der

1 a. a. O.
2 G. I. 153.
3 Ebend. XXIX. 115.
4 Ebend. XXV. 431.
5 Ebend. XV. 23.
6 Ebend. XXIX. 125.
7 Ann. Ch. Ph. XXI. 149.

Dichtigkeit der Dämpfe beschrieben werden, die Resultate aber sind auffallend zu klein.

Dalton's Versuche, welche nach der Beschaffenheit des gebrauchten Apparates keine genauen Resultate geben konnten, veranlafsten J. T. Mayer [1] mit einem ähnlichen, aber verbesserten Apparate gleichfalls einige Beobachtungen über die Elasticität der Aetherdämpfe anzustellen. Lezterer bediente sich nämlich einer heberförmig gekrümmten Barometerröhre mit Quecksilber gefüllt, in deren kürzeren Schenkel er über das Quecksilber etwas Schwefeläther gofs, und ihn demnächst mit einem Korke ohne rückbleibende Luft genau verschlofs. Der längere Schenkel wurde dann nach Dalton's Methode an der Lampe zugeschmolzen, und die Elasticität des Dampfes nach der Zusammendrückung der Luft in demselben bestimmt, nachdem der kürzere Schenkel in Wasser von bestimmter Temperatur gesenkt war. Eine Zusammenstellung einiger durch Mayer und durch Dalton erhaltener Resultate zeigen eine ganz ungewöhnliche Abweichung von einander. Es bezeichnen zu dem Ende t die Temperaturen nach R., e die Elasticitäten nach Mayer, e' nach Dalton, beide in Par. Zollen, Δ die Differenz beider.

t	e	e'	Δ	t	e	e'	Δ
13,3	12,03	11,90	— 1,13	60,0	96,35	79,66	— 16,69
17,0	14,60	—	—	65,0	116,0	91,54	— 24,46
50,0	64,97	58,68	— 6,29	70,0	137,2	103,8	— 33,40
51,1	68,00	60,43	— 7,57	75,0	165,0	116,1	— 48,90
55,0	78,72	68,60	— 10,12	80,0	193,3	128,2	— 65,10

Sowohl die Abweichungen dieser, mit ähnlichen Apparaten erhaltener Resultate, als auch insbesondere die grofsen Elasticitäten, welche Mayer auf diese Weise gefunden hat, sind sehr auffallend. Ob Lezteres daraus mindestens zum Theil erklärbar sey, dafs nach meinen wiederholten Beobachtungen allezeit eine gewisse Menge Luft durch Wärme aus dem Aether entbunden wird, läfst sich nicht mit Sicherheit ausmitteln. Etwas schwierig bleibt es allezeit, die Elasticität aus der Compression der Luft über dem Quecksilber zu bestimmen. Hierzu kommt noch

1 de vi elast. vap. p. 17.

der Umstand, dafs der von beiden gebrauchte Schwefeläther nicht absolut rein war.

Die neuesten Versuche über die Elasticität des Aetherdampfes sind von Ure [1] mit seinem, oben bei der Untersuchung über die Elasticität der Wasserdämpfe beschriebenen Apparate angestellt. Mit einer Sorte Aether wurden die acht ersten, mit einer zweiten die folgende Elasticitäten erhalten, und beide zusammen gaben folgende, auf t Grade R. und e in Pariser Zollen reducirte Werthe.

t	e	t	e	t	e	t	e
0,89	6,0	32,44	28,1	50,22	58,5	65,78	101,8
5,33	7,6	34,22	30,5	52,44	63,5	68,00	109,0
9,78	9,6	36,89	33,6	54,67	69,0	70,22	117,3
14,22	12,2	39,11	37,0	56,89	75,3	72,44	126,5
18,67	15,1	41,33	40,8	59,11	81,0	74,67	134,0
23,11	18,8	43,56	43,5	61,33	87,0	78,22	141,8
27,56	23,2	45,78	47,8	63,56	93,0	79,11	156,0
32,00	18,1	48,00	53,5				

Ure wendet auf diese Beobachtungen seine für die Elasticität der Wasserdämpfe gefundene Formel gleichfalls an, indem er für 104° F. = 32° R. den Siedepunct bei 30 engl. Z. Barometerhöhe findet, und den um 0,01 wachsenden oder abnehmenden Coefficienten = 1,22 womit diese Gröfse für 10° F. unter dieser Temperatur dividirt, für 10° F. über derselben aber multiplicirt werden mufs, um die zugehörige Elasticität in engl. Zollen zu erhalten. Hiernach ist für t = 94° F. $e = \frac{30}{1,22}$ Z., für 84° F. $e = \frac{30}{1,22 \times 1,23}$ Z. u. s. w.; für 114° aber ist $e = 30 \times 1,22$ Z. für 124° ist $e = 30 \times 1,22 \times 1,21$ Z. u. s. w. Hierbei stimmen die durch Rechnung erhaltenen Werthe mit den durch die Beobachtung gefundenen genau genug überein, die Formel selbst aber ist oben schon gewürdigt, und kann nicht für allgemein gültig angesehen werden. Aufserdem aber hat sich Ure, wie er selbst sagt, des in den Officinen käuflichen Aethers bedient, und daher den Siedepunct der einen Art

1 Phil. Tr. 1818. p. 359.

bei 40°, der andern aber bei 40°,56 C. gefunden. Nach Despretz [1] liegt derselbe bei 35° C., nach Biot [2] siedet Aether von 0,7365 sp. Gew. bei 9° C. äufserer Temperatur und 0^m,76 Barometerhöhe gewogen bei 37°,8 C.; meistens nimmt man im Mittel 37° C. an. Ich selbst habe in wiederholten Versuchen den Siedepunct des reinen Aethers von 0,711 spec. Gew. bei 10° R. Wärme und 28 Z. Barometerhöhe gewogen = 36,6 C. gefunden, und halte diese Gröfse für richtiger, als die von Despretz angegebene, weil man durch das leichte Aufwallen und die grofse Verdampfbarkeit des Aethers den Siedepunct desselben leicht etwas zu niedrig findet. Auf allen Fall aber ist es aufser Streit, dafs der von Ure gebrauchte Aether unrein, d. h. Alkoholhaltig war, und so sind alle von ihm gefundenen Elasticitäten bei weitem zu niedrig, indem dieser Einflufs des Alkohols auf die Dämpfe des Schwefeläthers durch Gay-Lüssac [3] nachgewiesen, und von mir [4] in einer grofsen Reihe von Versuchen gleichfalls gefunden ist.

Bei meinen Versuchen über die Dichtigkeit des Aetherdampfes habe ich selbst wiederholt Versuche über die Elasticitäten des Aetherdampfes auf die Weise angestellt [5], dafs ich eine geringe Quantität reinen Schwefeläther in den torricellischen Raum eines gut ausgekochten Barometers brachte, und bei vorsichtiger Erwärmung die Depression der Quecksilbersäule durch die erzeugten Dämpfe nach einem andern Barometer bestimmte. Weder durch dieses Verfahren, noch auch durch ein anderes bekanntes, indem ich nämlich eine Quantität Aether unter die Campane einer Luftpumpe setzte und exantlirte, konnte ich durch ihre Uebereinstimmung mir selbst genügende Resultate erhalten. Weit wichtiger sind daher zwei genau übereinstimmende Reihen von Beobachtungen, welche G. G. Schmidt mir auf meine Bitte mitzutheilen die Güte hatte, indem sich von diesem eben so umsichtigen als geübten Experimentator die genauesten Resultate erwarten lassen. Sie reichen indefs nur bis

---

1 Traité. 116.
2 Traité. I. 534.
3 G. XXXV. 431.
4 Physical. Abh. p. 263.
5 Vergl. Phys. Abh. p. 298. ff.

nahe an den Siedepunct des Aethers, und bleiben in den höheren Temperaturen hinter der wirklichen Elasticität etwas zurück, wenn man den Siedepunct des reinen Aethers um nahe 30° R. annimmt. Für die, vom Siedepuncte nicht weit entfernten Grade kommen dagegen die durch meine eigenen Versuche mit dem angegebenen Apparate erhaltenen Resultate der Wahrheit ungleich näher, wenn sie gleich für die niederen Temperaturen sämmtlich zu hoch gefunden sind. Um indeſs auch für höhere Grade die Elasticitäten des Schwefelätherdampfes zu erhalten, bediente ich mich des folgenden, dem Dalton-schen ähnlichen Apparates. An eine 1,25 Lin. weite, unten umgebogene Barometerröhre wurde ein starkes Gefäſs, wie an ein Flaschenbarometer, angeblasen, dann so viel Quecksilber eingegossen, bis das Gefäſs etwas über die Hälfte erfüllt war. Die andere Hälfte des Gefäſses goſs ich voll Schwefeläther, lieſs diesen zur Entfernung der etwa eingeschlossenen Luft gegen eine Minute sieden, und verschloſs dann die Oeffnung mit einem geeigneten Korke, schnitt dessen auſsen hervorstehendes Ende ab, verklebte die so verstopfte Mündung mit einem Kitt aus Bleiweis und Leinölfirniſs und einer übergebundenen Thierblase, sicherte alles durch umwickelten Bindfaden, und überzog das Ganze mit Bernsteinfirniſs. Diesen Apparat befestigte ich auf eine Scale, welche für die Veränderung des Niveau's des Quecksilbers im Gefäſse eingerichtet war, senkte das untere Ende der Glasröhre zusamt dem Gefäſse in einen Becher mit Wasser, und erwärmte dieses durch eine untergesetzte Lampe, und indem von zwei Beobachtern der eine das dicht neben dem Gefäſse mit Aether gleichfalls im Wasser befindliche Thermometer beobachtete, las ein anderer die Höhe der Quecksilbersäule ab. Der längere Schenkel des Barometers war oben abgeschliffen, um auf denselben eine Röhre, und auf diese abermals eine von gleicher Dicke und Weite vermittelst etwas Kitt und umgewundener Thierblase aufzusetzen, so daſs also die Quecksilberhöhe genau gefunden werden konnte, wozu die jedesmalige Barometerhöhe hinzuaddirt werden muſste. Obgleich es mühsam und zuletzt peinlich war, die Beobachtungen des Thermometers und der Quecksilbersäule anderthalb Stunden lang ohne Unterbrechung fortzusetzen, so wurde dennoch diese Zeit darauf verwandt, indem die den einzelnen Graden des Thermometers zu-

gehörigen Quecksilberhöhen zuerst bei zunehmender, und dann bei abnehmender Temperatur aufgezeichnet, und aus beiden das arithmetische Mittel genommen wurde. Das zur Erwärmung des Apparates dienende Wasser in Gefäſse zeigte sich der starken Verdunstung wegen minder brauchbar, und ich vertauschte es daher bei einem zweiten Versuche mit Olivenöl. Aus beiden doppelten Versuchsreihen und aus den von G. G. Schmidt erhaltenen Beobachtungen wählte ich die übereinstimmendsten und wahrscheinlich genauesten Resultate zur Bestimmung der Coefficienten in der Mayerschen Formel, und erhielt hier nach

$$\log. e = 3{,}7818278 + \log. (213 + t) - \frac{1144{,}2}{213+t}.$$

Die nachfolgende Tabelle enthält die nach dieser Formel für t Grade nach R. erhaltenen Elasticitäten = e, die im Mittel aus eigenen Versuchen gefundenen unter e′ und durch Schmidt erhaltenen unter e″.

t	e	e′	e″	t	e	e′	e″
— 30	0,619	—	—	16	13,96	—	13,3
— 25	0,932	—	—	17	14,74	—	13,9
— 20	1,376	—	—	18	15,56	—	14,7
— 15	1,992	—	—	19	16,41	—	15,4
— 10	2,836	—	—	20	17,31	—	16,3
— 5	3,970	—	—	21	18,24	—	17,1
— 4	4,238	—	—	22	19,22	20,4	17,8
— 3	4,522	—	—	23	20,24	21,0	18,7
— 2	4,822	—	—	24	21,31	21,8	19,6
— 1	5,138	—	—	25	22,42	22,2	20,4
0	5,473	—	—	26	23,58	22,9	21,4
+ 1	5,826	—	—	27	24,79	23,8	22,4
2	6,198	—	—	28	26,06	24,2	23,4
3	6,590	8,00	—	29	27,38	25,9	24,5
4	7,002	8,40	—	30	28,75	26,9	25,7
5	7,439	8,70	—	31	30,18	31,8	26,7
6	7,897	9,37	—	32	31,67	33,2	—
7	8,373	9,81	—	33	33,22	35,1	—
8	8,861	10,2	8,98	34	34,83	37,2	—
9	9,418	10,9	9,50	35	36,51	38,4	—
10	9,978	11,5	9,78	36	38,26	39,8	—
11	10,56	12,0	10,4	37	40,07	41,8	—
12	11,18	12,6	10,5	38	41,96	42,5	—
13	11,82	13,4	11,5	39	43,92	44,6	—
14	12,50	14,0	12,4	40	45,95	46,2	—
15	13,21	14,6	12,6	41	48,06	48,3	—

t	e	e′	t	e	e′
42	50,26	50,3	60	106,3	104,5
43	52,53	53,5	61	110,6	108,1
44	54,89	55,38	62	114,9	112,3
45	57,34	57,48	63	116,9	—
46	59,87	59,85	64	124,0	—
47	62,51	62,85	65	128,8	—
48	65,23	65,20	66	133,7	—
49	68,05	67,70	67	138,8	—
50	70,91	70,65	68	144,1	—
51	74,00	74,00	69	149,5	—
52	77,13	76,40	70	155,0	—
53	80,37	79,12	75	185,4	—
54	83,72	82,00	80	220,5	—
55	85,20	84,45	85	260,8	—
56	90,77	88,05	90	306,8	—
57	94,47	92,50	95	367,6	—
58	98,30	96,50	100	418,6	—
59	102,2	100,5	200	4239	—

Die Formel gleicht die unvermeidlichen Fehler der Versuche allem Anscheine nach sehr gut aus, und stimmt mit denselben genau genug zusammen, scheint jedoch für höhere Temperaturen die Elasticitäten etwas gröfser zu geben, als sie wahrscheinlich durch Versuche richtiger gefunden werden würden, vielleicht deswegen, weil bei Schwefelätherdampf derjenige Umstand schon früher eintritt, welcher oben hinsichtlich der Wasserdämpfe angegeben ist, nämlich dafs sie wegen gröfserer Dichtigkeit sich hinsichtlich ihrer Ausdehnung durch Wärme mehr den Bedingungen der tropfbaren Flüssigkeiten nähern. Die nahe Uebereinstimmung der durch die Formel erhaltenen Werthe mit denen durch Versuche gefundenen geht übrigens sowohl aus der Vergleichung mit den nebenstehenden Resultaten hervor, als auch aus der folgenden. J. T. Mayer fand für 80° R. eine Elasticität von 193 Z.; die Formel giebt 220 Z., also gröfser, als dieselbe aus der Compression der Luft gefunden ist, wobei jedoch berücksichtigt werden mufs, dafs der von Mayer gebrauchte Aether kein absoluter war, und somit die Elasticität etwas geringer gefunden werden mufste, als die Tabelle für den Dampf des absoluten Aethers angiebt. Cagniard la Tour [1] dagegen will auf die nämliche Weise bei 128° R.

1 Ann. Ch. P. XXI. 178.

eine Elasticität des Aetherdampfes von 37 Atmosphären, also 1036 Z. gefunden haben, welche Angabe nach jenen Beobachtungen nothwendig falsch seyn muſs.

D. Petroleumdampf.

Ueber die Dämpfe sonstiger Flüssigkeiten haben wir fast gar keine Versuche, auch gewähren dieselben nur ein geringes, bloſs wissenschaftliches Interesse. Auſser Ziegler hat auch Ure die Elasticitäten der Dämpfe des Petroleum gemessen, und die folgenden, auf gleiche Weise reducirten Werthe erhalten, nämlich e in Par. Zollen und t in Graden nach R.

t	e	t	e	t	e	t	e
126,22	28,2	134,67	36,3	143,56	47,1	151,11	58,2
128,00	29,7	136,89	39,1	145,78	49,9	152,44	60,0
130,22	31,8	139,11	41,3	148,00	53,4		
132,44	34,1	141,33	43,9	150,22	57,0		

Der Siedepunct des Petroleum liegt hiernach etwas unter 320° F. Wird Ure's allgemeine Formel auch auf diese Dämpfe angewandt, so gehört zu 320° F. eine Elasticität von 31,7 engl. Zollen, und der hierbei unveränderliche Factor, womit diese Gröſse für je 10° F. multiplicirt oder dividirt werden muſs, um die Elasticität in engl. Zollen zu erhalten, ist 1,14. Hiernach ist also für $n \times 10°$ F. über 320° die Elasticität des Dampfes $= 31{,}7 \times 1{,}14^n$ in engl. Zollen, und für $n \times 10°$ F. unter 320° ist $e = 31{,}7 : 1{,}14^n$, welches allerdings innerhalb der Grenzen der Beobachtungen mit diesen sehr genau übereinstimmt.

E. Terpentinspiritus-Dampf.

Auf ganz gleiche Weise hat Ure auch mit Terpentinöl Versuche angestellt, und folgende einander zugehörige Werthe gefunden

t	e	t	e	t	e	t	e
120,89	28,15	128,00	34,70	135,11	42,28	141,33	50,62
122,52	30,45	128,89	35,48	136,89	44,30	143,11	53,11
123,56	31,35	130,67	37,70	138,22	46,28	144,44	55,10
125,78	33,15	132,44	39,40	140,00	48,51	145,78	57,51
						146,67	58,52

Um auch hierfür nach der allgemeinen Formel die Elasti-

citäten zu berechnen, geht Ure von 310° F. als Normalgröſse aus, welcher Temperatur eine Elasticität von 33,5 engl. Z. zugehört, und der unveränderliche Factor, womit diese Gröſse multiplicirt oder dividirt wird, um für je 10° F. über oder unter diesem Puncte die Elasticitäten zu finden, ist 1,22. Also ist für $n \times 10°$ F. über 310° die Elasticität des Dampfes von Terpentinspiritus $= 33{,}5 \times 1{,}22^n$, und auf gleiche Weise für $n \times 10°$ unter 310° F. ist sie $33{,}5 : 1{,}22^n$ in engl. Zollen.

F. Schwefelkohlenstoffdampf.

Hierüber haben wir einige Versuche von Despretz, mit einem zunächst zur Auffindung der Dichtigkeiten der Dämpfe construirten Apparate [1] angestellt [2]. Für Grade der achtzigtheil. Scale fand er folgende Elasticitäten in Par. Zollen

t = 11°,82 gab e = 4,897 t = 12,69 gab e = 7,671
t = 12,21 — e = 3.069 t = 13,29 — e = 2,845
t = 12,25 — e = 2,641

Nach Berzelius und Marcet ist die Elasticität dieses Dampfes bei 9°,6 R. = 7,36 Z., nach Clüzel bei 18° = 11,8 Z., welche Bestimmungen besser übereinstimmen [3]. Da wir keine vergleichbare andere Versuche haben, so läſst sich über diese Resultate nichts weiter sagen; aber auffallend ist die geringe Uebereinstimmung der durch Despretz gefundenen Gröſsen unter einander, und daſs mit einer einzigen Ausnahme die geringsten Elasticitäten den höchsten Temperaturen zugehören.

Auch über die Elasticitäten der Dämpfe von noch anderen Flüssigkeiten besitzen wir allerdings noch Versuche, namentlich von Dalton über *liquides Ammoniak* und *liquiden salzsauren Kalk*. Weil dieser Beobachter indeſs bei allen das von ihm aufgestellte Gesetz bestätigt gefunden haben will, welches durch viele spätere sehr genaue Versuche der geübtesten Physiker für falsch erkannt ist, so verdienen sie zu wenig Zutrauen, und werden daher am besten mit Stillschweigen übergangen.

Endlich ist schon bemerkt, daſs von vielen andern Substanzen, namentlich vom Quecksilber stets und von vielen an-

---

1 Vergl. *Dichtigkeit d. Wasserdampfes.*
2 Ann. Ch. Ph. XXI. 147. Traité. 123.
3 S. Gmelin Chemie. I. 212.

dern Metallen unter geeigneten Umständen Dämpfe gebildet werden [1]; allein die Elasticität derselben ist in mittleren und höheren, bei einigen wahrscheinlich selbst noch in den höchsten Temperaturen so geringe, daſs sie durch die bis jetzt bekannten Mittel auf keine Weise gemessen werden kann.

8. Dichtigkeit der Dämpfe.

Ueber die Dichtigkeit der Dämpfe der verschiedenen Flüssigkeiten ist bis jetzt kein allgemeines, alles umfassendes Gesetz aufgefunden, und man muſs diese daher für jeden einzelnen Dampf besonders bestimmen. Indeſs kann man als im Ganzen gültige Regel annehmen, daſs die Dämpfe der am leichtesten verdampfbaren Flüssigkeiten die dichtesten sind, weswegen es bis jetzt noch nicht gelungen ist, die Dichtigkeiten der Dämpfe des Quecksilbers und der anderen Metalle mit Genauigkeit aufzufinden. Dabei versteht es sich von selbst, daſs bei der Bestimmung der Dichtigkeit der Dämpfe nur von denjenigen die Rede seyn kann, *welche sich im Maximo derselben befinden*, wie dieses oben näher angegeben ist. Wird aber ein mit solchem Dampfe erfüllter Raum ohne Erhöhung der Temperatur verkleinert, so geht ein Theil des Dampfes in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit über, wird aber wieder expandirt, sobald die Temperatur zunimmt. Hieraus ergiebt sich einestheils, daſs die Dichtigkeit der Dämpfe eine Function der Wärme ist, anderntheils aber folgt daraus von selbst, daſs die Dichtigkeit der Dämpfe im Maximo aus der Quantität der Flüssigkeit bestimmt werden muſs, welche bei einer gegebenen Temperatur einen gegebenen Raum im Zustande völliger Expansion erfüllt. Wird dieser Raum dann vergröſsert, ohne oder mit Vermehrung der Wärme, so muſs der Dampf, als expansibele Flüssigkeit, ihn erfüllen, bleibt aber dann nicht mehr im Maximo der Dichtigkeit oder im Zustande der Sättigung. Endlich ist auch für sich klar, daſs die Dichtigkeit der Dämpfe mit den Temperaturen wächst, weil bei unverändertem Raume, und abnehmender Wärme, ein Theil des Dampfes seine Expansion verliert und tropfbar flüssig wird [2].

---

1 Vergl. *Verdunstung*.

2 Dieser eigenthümliche Charakter der Dämpfe wird zuweilen

A. Wasserdampf.

In den früheren Zeiten hat man ausschliefslich nur die Dichtigkeit des Wasserdampfes untersucht, theils wegen der Dampfmaschinen, theils zur Erklärung der Hydrometeore; allein die Angaben sind meistens ganz unbestimmt, weil auf die Temperatur keine Rücksicht genommen ist. Hierhin gehört die Bestimmung Brander's auf seinen Hygrometern, wonach bei 2° desselben 8 gr. Wasserdampf in einem Kubikfufse Luft enthalten seyn sollen. Wallerius Ericson [1] suchte die Dichtigkeit des Wasserdampfes aus der Menge des Wassers zu finden, welche unter einer grofsen Campane verdunstete. Am meisten Ansehen behielt lange Zeit die Angabe von Musschenbroek [2], welcher vermuthlich aus eigenen Versuchen, indem er einen Tropfen Wasser in einem gläsernen Ballon verdampfen, und dann Quecksilber zutreten liefs, wobei der zurückbleibende, mit Wasser gefüllte Raum die Ausdehnung des Dampfes bestimmte, die Dichtigkeit desselben bei der Siedehitze = 0,000071428 gegen Wasser als Einheit genommen bestimmte, wonach also der Dampf 14000 mal dünner als Wasser oder nahe 18 mal dünner als Luft seyn sollte. Man erkennt bald, dafs die Vernachlässigung des vom Quecksilber aufgenommenen Wassers hierbei unrichtige Resultate erzeugen mufste. Indefs findet man diese Angabe von Nieuwetyt, Desaguliers, nach Versuchen, welche Dr. Beighton an einer Dampfmaschine an-

---

verkannt, indem man zugleich annimmt, dafs die Wärme die Dämpfe, eben wie die Gasarten, ausdehne. Genau genommen darf man nur sagen, sie vermehre ihre Elasticität; denn wenn man neben der Wärme auch die Zusammendrückung der Dämpfe vermehrt, so werden sie dann dichter, und keineswegs dünner werden, welches auch das eigentlich Richtige ist, da bei den Bestimmungen über die Dämpfe im Allgemeinen nur von solchen die Rede seyn kann, welche sich im Maximo ihrer Dichtigkeit befinden, oder im Zustande der Sättigung. Falsch ist es daher, wenn nach Brisson Traité élém. de Phys. II. 197 der gewöhnliche Wasserdampf 1200 bis 1400 mal, der des siedenden Wassers aber 13824 mal leichter seyn soll als Wasser, desgleichen dafs nach Gilbert Ann. XXI. 425. der Dampf in niederen Temperaturen für spec. schwerer als in höheren ausgegeben wird.

1 Schwed. Abh. II. 27.

2 Introd. §. 1471.

stellte [1], KAMES [2], BRISSON [3] u. v. a. wiederholt, auch sagt schon s'GRAVESANDE [4], daſs die Ausdehnung des Wasserdampfes die des Wassers um mehr als 14000 mal übertreffe, wobei er ohne Zweifel den nämlichen Beobachtungen folgt. Ungleich näher der Wahrheit kommt die Bestimmung durch LAMBERT [5], welcher auch anderweitig als feiner Beobachter bekannt ist. Dieser giebt aus der Verdunstung des Wassers den Inhalt eines Kubikfuſses zu 342 grains an, und indem er zugleich das Gewicht der Luft = 640 grains findet, so giebt dieses ein Verhältniſs von 0,53437 : 1 oder von nahe 10 : 18, den neuesten Bestimmungen ziemlich nahe kommend. An einer andern Stelle [6] behauptet derselbe, daſs die Luft $\frac{12}{37}$ ihres Gewichtes an Wasserpartikeln aufnähme, welche zwar nicht elastisch seyn sollen, aber doch nicht füglich für etwas anders als Dampf gelten können. Genau genommen sind indeſs beide Bestimmungen viel zu groſs, weil nach ihnen die Luft bei mittlerer Wärme und gewöhnlichem Drucke nahe 0,5 oder 0,324 ihres Gewichtes an Wasserdampf enthalten müſste, welches unmöglich ist. Eine der bekanntesten Angaben über die Dichtigkeit des Wasserdampfes ist die von WATT, wonach derselbe ohngefähr halb so dünn als Luft, also 1600 mal dünner als Wasser seyn soll [7]. WATT beschreibt selbst den unvollkommenen Apparat, womit er dieses Resultat erhielt [8]. Er füllte nämlich eine einfache Phiole mit Wasserdampf bei der Siedehitze und dann mit Wasser, verglich beider Gewichte, und fand das Verhältniſs derselben = 1 : 1800, ja er glaubt sogar, daſs der Wasserdampf eher noch leichter seyn könnte, als hier angegeben ist, wonach sein Verhältniſs zu Luft bei mittlerem Barometerstande nahe = 10 : 23 seyn würde. Auch andere waren der Meinung, die Dichtigkeit des Wasserdampfes bei der

1 Phil. Tr. N. 407. Robison Mech. Phil. II. 67.
2 v. Crell chem. Ann. 1784. II. 55.
3 Traité élém. de Phys. II. 197.
4 Phys. Elem. II. 587.
5 Mém. de Berlin. 1769. p. 68 ff. 1772. p. 96 ff.
6 Ebend. 1768. p. 70.
7 Gött. Mag. Jahrg. III. St. II. p. 223.
8 Robison Mech. Phil. II. 115.

Siedehitze sey noch geringer, als hier angegeben ist. Rumford [1] unter andern sagt, sie betrage nur den 2000, nach andern den 10000sten Theil der Dichtigkeit des Wassers, und Robison [2] giebt gleichfalls $\frac{1}{2000}$stel als die richtige Bestimmung an. Rumford's Bestimmungen sind wahrscheinlich aus der Encyclopedia Britannica genommen, worin die Dichtigkeit wie 1 : 10000, im Supplementbande jedoch nur nach Watt wie 1 : 1800 gegen Wasser genommen wird. Späterhin erkannte man sehr wohl, daſs der bei geringerer Wärme, als der Siedehitze gebildete Dampf ungleich dünner seyn müsse, und indem man für seine Dichtigkeit bei dieser Temperatur die Bestimmung Watt's im Allgemeinen beibehielt, suchte man dieselbe für niedrigere Temperaturen zur Erklärung der Hydrometeore aufzufinden. Die Resultate dieser Bemühungen sind indeſs sehr verschieden. Auffallend zu klein ist eine Angabe von de Luc [3], welcher von Watt's Bestimmung der Dichtigkeit des Wasserdampfes bei der Siedehitze ausgeht, und hiernach dieselbe für 10°,4 R. = 0,0000099 annimmt, die des Wassers = 1 gesetzt. Zwar ungleich, aber im Ganzen sehr genau sind drei verschiedene Bestimmungen von Saussüre. Zuerst fand dieser durch Verdampfung des Wassers unter einer Campane, daſs ein Kub. F. Luft bei 15° R. 11,096 grains Wasser aufzunehmen vermag [4], welches berechnet 0,000017125 gegen Wasser beim Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit giebt. Diese Bestimmung kommt der Wahrheit sehr nahe, weit mehr als wenn man mit Gilbert [5] nach Wahrscheinlichkeit 12,28 grains annimmt, welches 0,0000190 geben würde. Nach den beiden andern Angaben des nämlichen Physikers [6] enthält ein Kubikfuſs Luft bei 4°,75 R. 5,4605, und bei 6°,18 R. 5,6549 grains Wasserdampf, wovon jenes eine Dichtigkeit = 0,0000084614 . . . dieses aber = 0,000008768 . . . giebt, beide der Wahrheit sehr nahe kommend, jedoch etwas zu groſs, wie aus einer Vergleichung mit

1 G. IV. 398.
2 Mech. Phil. II. 11.
3 Gren. J. II. 426.
4 Versuche über Hygrom. d. Ueb. Leipz. 1784. p. 128—146.
5 Ann. XV. 52.
6 Ebend.

den in der unten folgenden Tabelle enthaltenen Größen hervorgeht. Nach zwei Angaben von H. DAVY [1] soll die Luft bei 8° R. $\frac{1}{50}$stel ihres Volumens und $\frac{1}{75}$ ihres Gewichtes, bei 30°,22 R. aber $\frac{1}{12}$tel ihres Volumens und $\frac{1}{21}$stel ihres Gewichtes an Wasserdampf enthalten. Die doppelten Bestimmungen lassen sich bei der Berechnung nicht genau vereinigen, und es ist daher am besten, nur die eine, nämlich das Gewicht hierbei zum Grunde zu legen, obgleich wegen mangelnder Angabe des Barometerstandes keine völlig genaue Berechnung möglich ist. Nimmt man aber einen mittleren Barometerstand, und hiernach die Dichtigkeit der Luft gegen Wasser = 0,0013 an, und corrigirt für die angegebene Temperatur, so giebt die erstere Bestimmung 0,000016665 ... die letztere 0,00005258, wovon die erste um das Doppelte zu grofs, die zweite aber der Wahrheit sehr nahe kommend ist. Um ein Merkliches zu grofs ist DALTON's [2] Angabe, wonach der Dampf 0,7 der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft gleich kommen soll, welches 0,0008974 ... gegen Wasser geben würde. Dafs hierbei vom Dampfe des siedenden Wassers die Rede sey, kann daraus gefolgert werden, dafs DALTON sich auf die Angabe von WATT beruft, aber falsch ist es, wenn er zugleich voraussetzt, der Dampf behalte auch in niederen Temperaturen diese Dichtigkeit bei. CLÉMENT und DESORMES bestimmten die Dichtigkeit des Wasserdampfes, indem sie Luft durch Wasser aufsteigen liefsen, ihr dann den Dampf, womit sie dieselbe für gesättigt hielten, durch salzsauren Kalk entzogen, und die Quantität desselben durch die Gewichtszunahme des letzteren bestimmten. Hiernach fanden sie, dafs ein Kub. F. Luft bei 10° R. 5,89 grains enthalte, welches eine Dichtigkeit = 0,000009127 giebt, der Wahrheit sehr nahe kommend, jedoch um ein Weniges zu klein, wie daraus leicht erklärlich ist, dafs die Luft auf die angegebene Weise nicht völlig mit Wasserdampf gesättigt seyn konnte. G. G. SCHMIDT [3] bediente sich zur Bestimmung der Dichtigkeit des siedendheifsen Wasserdampfes eines, dem früher von MUSSCHENBROEK angegebenen ähnlichen Apparates,

1 Elements of agric. Chemistry. cet. Lond. 1810. lect. V.
2 G. XXI. 425.
3 Gren N. J. IV. 299.

nämlich einer Glaskugel mit einer feinen Spitze, welche voll Luft, und dann mit dem aus siedendheifsem Dampfe niedergeschlagenen Wasser und Luft erfüllt gewogen wurde, und fand hiernach die Dichtigkeit desselben = 0,00068027, nur etwas zu grofs. Gleichfalls um ein Weniges zu grofs ist die Angabe des nämlichen Physikers [1], wonach die Dichtigkeit des Wasserdampfes bei 17°,5 R. = 0,0000285 seyn soll. J. T. Mayer [2] brachte einen Tropfen Wasser in das torricellische Vacuum, liefs es darin verdampfen, und bestimmte hiernach die Dichtigkeit des Dampfes bei 15° R. = 0,0000200, mit den späteren Bestimmungen sehr nahe übereinstimmend.

Alle diese verschiedenen Versuche geben zwar, wenn man die entgegengesetzten Abweichungen ausgleicht, einen nahe genauen mittleren Werth, genügen aber keineswegs, um in einer über die Dichtigkeiten der Wasserdämpfe aufzustellenden Formel die Constanten mit hinlänglicher Genauigkeit zu bestimmen. Es war deswegen ein verdienstliches Unternehmen, dafs Gay-Lussac mit einem zweckmäfsigen Apparate eine umfassendere Reihe von Versuchen zur Auffindung dieses Gesetzes anstellte [3]. Hierzu nahm er das lange und schmale, nach seinem Inhalte graduirte Gefäfs B, füllte dasselbe mit Quecksilber, und sperrte es in der Quecksilberwanne V V nahm dann kleine, in eine feine Spitze ausgezogene hohle Glaskügelchen α, wog diese leer, füllte sie mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, schmolz die Spitze an der Lampe zu, wog sie abermals, um das Gewicht der darin enthaltenen Flüssigkeit genau zu erfahren, brachte sie unter das sperrende Quecksilber der Wanne, und liefs sie in dem langen Gefäfse aufsteigen, wodurch also eine bestimmte Quantität der Flüssigkeit in den Raum gebracht wurde. In die Quecksilberwanne senkte er dann eine weitere Röhre M M, füllte diese mit Wasser, setzte den ganzen Apparat auf einen Ofen F F, und wenn dann alles erhitzt wurde, so dehnte sich die Flüssigkeit in dem Kügelchen aus, sprengte

Fig. 116.

1 Naturl. I. 298.

2 Comm. de vi elast. vap. p. 39.

3 Nouveau Bullet. de la Soc. Phil. N. 18. 1809. I. 298. daraus bei Gehlen J. IX. 208. G. XLV. 332. Vollständig bei Biot Traité. I. 291.

dasselbe, der Raum wurde mit Dampf erfüllt, und das Quecksilber sank herab. Um den Raum, welchen der Dampf einnahm, genau zu messen, setzte er einen Ring von Kupfer auf die Wanne, steckte eine graduirte Regel T hinein, deren Spitze die Oberfläche des Quecksilbers genau berührte, worauf die Höhe des Läufers H, nachdem er mit der Oberfläche des Quecksilbers im Gefäſse B einvisirt war, die Höhe des letzteren angab. Durch allmäliges Erhitzen des Apparates, und die hiermit übereinstimmende Bildung des Dampfes, und die dadurch bewirkte Depression des Quecksilbers wurde demnächst der Punct der vollständigen Verdampfung gefunden, worauf dann aus dem Raume, welchen der Dampf einnahm, nach dem jedesmaligen Barometerstande corrigirt, und aus der Menge der zur Bildung desselben verwandten Flüssigkeit die Dichtigkeit desselben gefunden wurde. Auf diese Weise fand Gay-Lussac als allgemeines Gesetz, daſs die Wasserdämpfe $\frac{10}{16}$ oder genauer $\frac{10}{16{,}04}$ der Luft bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke betragen, welches für die Siedehitze 0,0006008 gegen Wasser bei seiner gröſsten Dichtigkeit giebt.

Ohne diese Versuche schon damals genau zu kennen, unternahm ich selbst in den Jahren 1813 und 14 eine groſse Reihe anderer, welche zu umfassend sind, als daſs ich hier die Resultate derselben übergehen dürfte [1]. Hierzu nahm ich einen Ballon von feinem englischen Glase 155 franz. Kub. Z. haltend, am oberen Theile des Halses mit einer messingnen Fassung g g zum Aufschrauben auf die Luftpumpe versehen, und mit dem genau schlieſsenden Hahne f, um der äuſsern Luft auch auf längere Zeit allen Zugang abzuschlieſsen, und jeden Versuch mehrmals wiederholen zu können. Aus der Fassung war ein Thermometer so herabgelassen, daſs die Kugel desselben a sich möglichst genau im Mittelpuncte des Ballons befand; die Rückseite der Thermometerscale trug aber ein kleines Heberbarometer b b, um sowohl beim Exantliren den Grad der Verdünnung und nachher das feste Schlieſsen aller Theile zu controliren, als auch späterhin die Elasticität des eingeschlossenen Dampfes bei ver-

Fig. 117.

---

1 Physicalische Abhandlungen. Gieſsen 1816. Im Auszuge bei Schweigger J. XXII. 1.

schiedenen Temperaturen beiläufig zu messen. Die Flüssigkeit, aus welcher der Dampf gebildet werden sollte, befand sich in kleinen Röhrchen r mit feinen Spitzen, wie in den Versuchen von Gay-Lüssac, und diese wurden vermittelst zweier, auf die Enden gesteckter Bleikugeln α,α durch eine Erschütterung des Ballons zerschellt, und so der Ballon mit Dampf gefüllt. Hauptsächlich aber war erforderlich darauf zu achten, daſs keine Feuchtigkeit im Ballon blieb. Zu diesem Ende trocknete ich denselben sorgfältig, welches bei der ausnehmenden Klarheit des englischen Glases zwar nicht ohne Mühe, aber eben so sicher als vollständig geschehen konnte, exantlirte ihn bis zur Luftverdünnung von 2 bis 0,5 Lin., füllte ihn dann mit Luft, welche über kaustischem Kali getrocknet war, exantlirte abermals, und wiederholte dieses Verfahren wohl zwei bis dreimal, zerschellte dann das Röhrchen, und suchte durch allmäliges, vorsichtiges Erwärmen diejenige Temperatur zu finden, bei welcher alle Flüssigkeit völlig expandirt war, ohne an den inneren Wänden des Ballons den geringsten, leicht kenntlichen, Niederschlag zu bilden. Als Resultat der gesammten Versuche geht gleichfalls hervor, daſs die Dichtigkeit der Dämpfe zur Luft unter gleichem Drucke und bei gleicher Temperatur eine constante Gröſse sey, welches Verhältniſs, indeſs um eine Kleinigkeit gröſser ist, als daſs von Gay-Lüssac gefundene, nämlich 10 : 15,75, auch nimmt dieses Verhältniſs bei höheren Temperaturen zu, wie aus der Natur der Dämpfe von selbst folgt.

Eine Vergleichung beider Versuchsreihen mit einander steht mir billigerweise nicht zu, indeſs unterliegt jede zwei möglichen oder unvermeidlichen Fehlern, die übrigens erforderliche Genauigkeit der Beobachtung und Messung als bei beiden gleich vorausgesetzt. Bei der von Gay-Lüssac gewählten Methode giebt die das Quecksilber in der Meſsröhre herabdrückende Capillardepression den Raum zu groſs, und die Erhitzung konnte leicht etwas Luft und Wasser von dem nicht ausgekochten Quecksilber, welches freistehend oder beim Einfüllen in die Röhre etwas Feuchtigkeit und Luft aufnehmen muſste, wieder entbinden, welche beide Ursachen die Dichtigkeit zu geringe geben. Hätte Gay-Lüssac aber das Quecksilber vorher in der Röhre ausgekocht, so hätte das Quecksilber etwas Feuchtigkeit ausgesogen, wodurch die Capillardepression mehr als compen-

sirt worden wäre, und er mufste dann das Verhältnifs der Dichtigkeit zu grofs finden. Beide Fehler bei ihm sind unvermeidlich. Die möglichen Fehler bei meinen Versuchen konnten daraus entstehen, wenn etwas feuchte Luft oder Feuchtigkeit im Ballon zurückblieb, wodurch die Dichtigkeit zu klein gefunden werden mufste, oder wenn in der undurchsichtigen Fassung des Ballons ein unbemerkter Niederschlag entstand, wodurch sie im Gegentheil zu grofs gefunden wäre. Der erstere Fehler ist durch das gewählte Verfahren völlig vermieden, dem zweiten suchte ich dadurch zu begegnen, dafs ich die Fassung stets etwas wärmer erhielt, als den übrigen Ballon, welches wegen der Blänke des Metalles leicht zu bewerkstelligen war. Endlich kam der Genauigkeit der Versuche noch der Umstand zu statten, dafs die erhaltenen Gröfsen gar keiner Correction bedurften, und die Messung derselben überhaupt höchst einfach war. Indem ich nämlich den Inhalt des gebrauchten Ballons durch hineingefülltes Wasser bei einer Temperatur von 8°,5 R. = 4,4 C. also nahe genau bei seiner gröfsten Dichtigkeit durch das Gewicht bestimmte, mit den nämlichen, genau unter einander verglichenen, Gewichtstücken aber die Quantität derjenigen Flüssigkeit abwog, welche nachher in den Ballon gebracht bei einer zu suchenden Temperatur denselben mit Dampf im Maximo seiner Dichtigkeit anfüllte; so durfte ich blofs das letztere Gewicht durch das erstere dividiren, um das Verhältnifs des Dampfes zum Wasser im Maximo seiner Dichtigkeit unmittelbar zu erhalten. Indem übrigens die Resultate so genau mit einander übereinstimmen, so nehme ich keinen Anstand, die durch meine eigenen wiederholten Versuche gefundenen bei der unten folgenden Berechnung zum Grunde zu legen, um so mehr, als sie den Bestimmungen, welche andere Physiker früher gefunden haben, näher kommen, als die von Gay-Lussac.

Despretz [1] bestimmte die Dichtigkeit der Dämpfe von einigen Flüssigkeiten dadurch, dafs er einen Ballon erst leer, dann mit Dampf erfüllt, wog, und aus der Differenz des Gewichtes die Menge der verdampften Flüssigkeit erhielt. Seine Reductionen, wodurch er den Dampf auf 0° Temperatur nach der Voraussez-

---

1 Ann. C. P. XXI. 143.

zung reducirt, dafs er sich gleichmäfsig wie die Luft ausdehnen soll, machen die Sache unnöthig weitläuftig, und entfernen die Resultate von der Wahrheit, indem doch offenbar Dampf bei 0° Temperatur gebildet etwas ganz anderes ist, als der bei 11° bis 15° C. entstandene. Seine Versuche über Wasserdämpfe sollen indefs ein dem von Gay-Lüssac erhaltenen sehr nahe gleiches Resultat gegeben haben. Berechnet man dieselben ganz einfach, so ergiebt sich Folgendes. Der Ballon fafste bei 15° C. 9,3746 Litres, welche mit Rücksicht auf die Ausdehnung durch Wärme nahe genau 9374,66 Grammes an Gewicht betragen, wenn man das Verhältnifs zu Wasser bei seiner gröfsten Dichtigkeit verlangt. Der Wasserdampf im Ballon wog bei 17°,44 C. oder 13°,9 R. 0,102 Grammes, mithin ist die Dichtigkeit gegen Wasser nahe genaue 0,00001088 . . etwas zu klein; für 19°,31 = 15°,46 R. aber, wobei das Gewicht des Dampfes 0,134 Grammes gefunden wurde, ist dasselbe auf gleiche Weise nahe genau 0,00001429 . . gleichfalls etwas zu klein, mit den Bestimmungen von Gay-Lüssac jedoch allerdings nahe übereinstimmend. Der Apparat übrigens, dessen er sich bediente, ist einer der einfachsten, und am leichtesten zu behandeln, giebt aber die Dichtigkeiten sehr leicht zu klein an, wenn man nicht darauf sieht, dafs noch stets etwas Flüssigkeit zum Verdampfen vorhanden ist. Despretz scheint diesen Fehler nicht vermieden zu haben, wie eine Prüfung seiner Versuche ergeben wird. Der von ihm gebrauchte Apparat besteht aus einem Barometer A A von einer dreifachen Weite, als gewöhnliche Barometer zu haben pflegen, mit einem oben angebrachten Hahn α und aus einem anderen Barometer C in ein gemeinschaftliches Quecksilbergefäfs vv gesenkt. In das erstere Barometer wird die Feuchtigkeit gebracht, dann wird die möglichst luftleere Kugel B aufgeschroben, die Hähne werden geöffnet, und diese füllt sich mit Dampf, welcher nachher gewogen werden kann; die Differenz der Quecksilberhöhe in beiden Barometern aber giebt die der Temperatur zugehörige Elasticität, welche indefs wegen der Capillardepression zu grofs gefunden werden mufs, wenn man die Dichtigkeit nicht zu klein erhalten will.

Fig. 118.

Alle bisher erwähnten Versuche über die Dichtigkeit des Wasserdampfes beziehen sich auf Temperaturen unter dem Sie-

depuncte. SOUTHERN[1] hat indeſs diese Bestimmung auch für höhere Wärmegrade aus der Menge des Dampfes zu erhalten gesucht, welche einen Stiefel von gemessenem Inhalte füllten, wodurch indeſs, ohne groſse Sorgfalt anzuwenden, aus leicht begreiflichen Gründen keine völlig scharfe Resultate zu erwarten sind. Dennoch aber hat dieser geübte Physiker drei vortreffliche Resultate erhalten, und zugleich das aus theoretischen Gründen schon früher angenommene Gesetz auch für diese Temperaturen bestätigt gefunden, nämlich daſs die Dichtigkeiten sehr nahe den Elasticitäten proportional sind. Seine absoluten Bestimmungen sind folgende:

Für	229° F.	=	87°,56 R.	Dichtigkeit	= 0,00082755
—	270 —	=	105,78 —	— —	= 0,00170140
—	295 —	=	116,89 —	— —	= 0,00247620

welche mit der nachfolgenden, nach meinen Versuchen berechneten Tabelle bis auf verschwindende Unterschiede übereinkommen. Insofern aber, bei völliger Uebereinstimmung der ersten Gröſse die beiden letzteren die Dichtigkeiten noch etwas gröſser geben, als diese in der Tabelle berechnet sind, so liegt hierin ein Beweis, daſs die bei der letzteren zum Grunde liegenden Elemente den Resultaten der Versuche angemessen seyn müssen, um auch für höhere Temperaturen auszureichen, und daſs das Verhältniſs der Dichtigkeit von mir keineswegs zu groſs genommen sey. Daſs übrigens SOUTHERN die Dichtigkeit des Dampfes auf die angegebene Weise auf keinen Fall zu klein finden konnte, wohl aber zu groſs, wenn mechanisch fortgerissenes Wasser mit in den Stiefel eindrang, fällt von selbst in die Augen.

Die Verhältnisse der Dichtigkeiten sind 40,00; 82,24; 119,70, der Elasticitäten aber 40; 80; 120, woraus also das angegebene Gesetz Bestätigung erhält[2].

---

1 Robison Mech. Phil. II. 163. Frühere Versuche von SOUTHERN und SHARPE bei THOMSON Système de Chim. Suppl. 143. stimmen weniger überein.

2 Wenn DESPRETZ in Ann. de Ch. P. XXI. 152. das Gegentheil gefunden haben will, so liegt dieses daran, daſs er die Elasticitäten nach DALTON zum Grunde legt. Später hat er durch eigene Versuche das Nämliche gefunden. S. Traité. 125.

Die Dichtigkeit des Wasserdampfes für die höchsten und niedrigsten Temperaturen zu kennen ist in mehrfacher Hinsicht, hauptsächlich aber für die Meteorologie und die praktische Benutzung des Dampfes von sehr grofser Wichtigkeit, und es mufs hieraus der Wunsch hervorgehen, dieselbe nicht blofs für einige Grade der Wärme durch mühsame Versuche zu bestimmen, sondern zugleich eine allgemeine Formel zur Berechnung derselben aufzufinden. Berücksichtigt man die grofse Aehnlichkeit der Gasarten und der Dämpfe, so kann man im Allgemeinen schliefsen, dafs das für jene aufgefundene Gesetz auch auf diese passen müsse, oder dafs die Dichtigkeiten den Elasticitäten direct proportional seyn werden. Uebersieht man indefs zugleich nicht, dafs nach dem, schon oben in den allgemeinen Beobachtungen über die Dichtigkeit der Dämpfe angegebenen, Verhalten durch Verminderung eines gegebenen Raumes voll Dampf im Zustande des Gesättigtseyns nicht wie bei Gasarten die Dichtigkeit und Elasticität desselben dem Raume umgekehrt proportional, sondern sich selbst gleichbleibend ist, indem dann eine der Verminderung des Raumes proportionale Menge des Dampfes im tropfbar flüssigen Zustande ausgeschieden wird, und dafs zugleich bei unverändertem Raume, aber erhöheter Wärme, die Elasticität desselben zwar wächst, derselbe aber zugleich unter das Maximum seiner Dichtigkeit herabsinkt, so folgt hieraus, dafs die Dichtigkeit des Dampfes der Elasticität directe, der Temperatur aber umgekehrt proportional seyn mufs. Ohngeachtet indefs das Verhalten der Gasarten hiernach ein anderes ist, als das der Dämpfe, so stimmen doch auch jene darin mit diesen überein, dafs bei gleichbleibender Elasticität ihre Dichtigkeit der Wärme nach dem Gesetze der Ausdehnung durch dieselbe umgekehrt proportional ist. Zugleich aber ist oben schon gezeigt, dafs die Elasticität der Dämpfe eine Function der Temperaturen und Dichtigkeiten sey, woraus folgt, dafs die Elasticitäten und Dichtigkeiten gegenseitig durch einander, beide aber durch die Temperaturen bedingt werden.

La Place war, so viel mir bekannt ist, der erste, welcher über die Dichtigkeit der Dämpfe ein allgemeines Gesetz aufstellte, indem er aus den Versuchen von Dalton, Saussüre und Watt folgerte, dafs dieselbe bei gleichen Elasticitäten und

Temperaturen $\frac{10}{14}$ von der Dichtigkeit der Luft betrage [1]. Heifst daher die Dichtigkeit der Luft ϱ, so ist für einen Barometerstand = H und eine Temperatur = t in Centesimalgraden die Dichtigkeit des Dampfes

$$\delta = \frac{10}{14}\,\varrho\,\frac{e}{H}\left(\frac{1}{1+0{,}00375t}\right)$$

Aus der oben vorgenommenen Prüfung der verschiedenen Versuche folgt indefs, dafs diese Bestimmung die Dichtigkeiten zu grofs giebt. Nach einer andern Angabe von La Place [2] aber wird die Dichtigkeit des Dampfes bei 16° R. zu klein gefunden, weil bei der Berechnung die durch Watt gefundene Bestimmung zum Grunde liegt, wonach der siedendheifse Dampf 1600 mal dünner als Wasser seyn soll. Gay-Lüssac fand durch seine oben erwähnten Versuche das von La Place angegebene Gesetz bestätigt, aber für einen Coefficienten der Dichtigkeit von $\frac{10}{16}$ gegen Luft bei gleicher Temperatur und Elasticität [3].

Die oben für die Elasticitäten der Dämpfe benutzte, von J. T. Mayer aufgestellte, Formel geht davon aus, die Elasticität als eine Function der Dichtigkeit und der Temperatur anzusehen, wodurch sie in ihrer einfachsten Gestalt $e = \mu\,\delta\,(1 + At)$ giebt, wenn e die Elasticität, δ die Dichtigkeit und t die Temperatur nach R. bezeichnet. Hieraus wird umgekehrt

$$\delta = A\,\frac{e}{213+t}.$$

wenn man annimmt, dafs die expansibelen Flüssigkeiten sich um $\frac{1}{213}$ für jeden Grad der achtzigtheil. Scale ausdehnen, zugleich aber der Natur der Sache nach die Dichtigkeiten der Elasticitäten directe, den Temperaturen aber umgekehrt proportional setzt. Diese Formel habe ich den von mir in 16 Ver-

---

1 Méc. Cél. IV. 273.

2 Bullet. des Sciences de la Soc. philom. N. 72. daraus bei G. XXVII. 427.

3 Noch eine gehaltreiche Untersuchung von Tralles befindet sich bei G. XXVII. 411. Indefs übergehe ich dieselbe, weil es zu weitläuftig seyn würde, sie im Auszuge mitzutheilen, und man auch ohne dieses zum beabsichtigten Ziele gelangen kann.

suchen, mit Ausschlufs der minder genauen, gemessenen Dichtigkeiten des Wasserdampfes angepafst, und sie den erhaltenen Resultaten angemessen gefunden, jedoch in der Art, dafs der für den Factor A gefundene Werth in höheren Temperaturen zu vermindern seyn müfste, wodurch die Formel die Gestalt

$$\delta = A\,(1 - w\,t)\,\frac{e}{213 + t}$$

erhalten würde, ohne dafs es mir möglich schien, den Werth von w aus meinen Versuchen mit Sicherheit zu bestimmen, indem dieselben nur die Temperaturen von 0° bis 85° R. umfafsten [1]. Bei nochmaliger Revision der erhaltenen Gröfsen und einer Vergleichung derselben mit den durch andere Physiker, namentlich durch Southern für höhere Temperaturen gefundenen Dichtigkeiten finde ich die Uebereinstimmung zwischen den durch Beobachtung und Rechnung gefundenen Werthen noch genauer, wenn in der Formel für die Elasticitäten die durch Arzberger gefundenen Constanten aufgenommen, und mit den auf diese Weise erhaltenen Werthen von e die Dichtigkeiten berechnet werden. Man darf daher A unbedenklich = 0,0064106984 ... oder kürzer = 0,0064107 nehmen, wonach ohne die Einführung des Factors (1 — w) die Formel

$$\delta = 0{,}0064107\,\frac{e}{213 + t}$$

die Dichtigkeiten sehr genau giebt.

Wiewohl es natürlich, und unmittelbar auf der Sache selbst gegründet ist, die Dichtigkeit der Dämpfe mit der Dichtigkeit derjenigen Flüssigkeit zu vergleichen, woraus sie gebildet sind, so hat man doch in den letzten Zeiten sie vielmehr mit der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur verglichen [2]. Die Dichtigkeit

---

1 Phys. Abh. p. 174.

2 La Place in Méc. Cél. IV. 273. wählte diese Bezeichnungsart, weil sie ihm für die Untersuchung der Strahlenbrechung die bequemste und pafslichste war. Seitdem ist sie in Frankreich, und diesemnach auch in Deutschland fast ganz allgemein aufgenommen. Indefs bin ich, wie die Natur der Sache erforderte, zu der älteren zurückgekehrt, habe jedoch in der nachfolgenden Tabelle auch eine Columne zur Vergleichung mit der Luft hinzugefügt.

der Luft, mit Wasser bei seiner gröſsten Dichtigkeit verglichen, wird durch die Formel [1]:

$$d = 0{,}00128308\left(1-\frac{2h}{R}\right)(1-0{,}002711\cos.2l)\left(\frac{1}{1+t.0{,}00375}\right)\left(\frac{h}{28\ Z.}\right)$$

ausgedrückt. Läſst man hierin die beiden Coefficienten für die Erhebung über der Meeresfläche und die Grade der Breite weg, reducirt den Coefficienten der Wärme auf Grade der achtzigtheil. Scale, drückt allgemein $\frac{h}{28\ Z.}$ durch ε und den Coefficienten der Vergleichung durch α aus, so heiſst sie in einfachster Gestalt

$$d = \alpha\left(\frac{1}{1+\frac{t}{213}}\right)\varepsilon$$

und zur leichteren Uebersicht des Verhältnisses der Elasticitäten und Dichtigkeiten

$$\frac{d}{\varepsilon} = \frac{213\ \alpha}{213+t}.$$

Wird die Formel für die Dichtigkeit der Dämpfe auf gleiche Weise dargestellt, so ist sie

$$\frac{\delta}{e} = \frac{a}{213+t}.$$

Vergleicht man beide mit einander, so ergiebt sich, daſs das Verhältniſs der Dichtigkeiten zu den Elasticitäten der Temperaturen umgekehrt proportional ist, und wenn $213\ \alpha = \alpha'$ gesetzt wird, so folgt, daſs zwischen der Dichtigkeit der Dämpfe und der Luft, wenn bei beiden die Elasticitäten gleich sind, ein constantes Verhältniſs statt finden muſs, welches $= a : \alpha'$ ist. Dieses Verhältniſs in Zahlen ausgedrückt ist 0,65685 : 1 oder aber das Verhältniſs der Dichtigkeit des Wasserdampfes zur Dichtigkeit der atmosphärischen Luft, beide unter gleichem Drucke und bei gleicher Temperatur, ist eine constante Gröſse, welche auch durch $\frac{10}{15{,}2242}$ ausgedrückt werden kann. Gay Lüssac hat statt dessen $\frac{10}{16}$ gefunden, welches von jenem nur wenig abweicht.

---

1 Vergl. *Luft*.

In der Regel ist den Physikern am meisten daran gelegen, zu wissen, wie viel Wasser in Dampfgestalt in einem gegebenen Raume enthalten ist. Berücksichtigt man nun, dafs die Dichtigkeit des Dampfes im leeren Raume von der im lufterfüllten unter dem gewöhnlichen Drucke der Atmosphäre nicht verschieden ist, so läfst sich aus dem bekannten Inhalte eines Gefäfses mit Hülfe der nachstehenden Tabelle die Menge des darin enthaltenen Dampfes gegen Wasser bei seiner gröfsten Dichtigkeit leicht finden, wobei aber nicht übersehen werden darf, dafs hierbei Dampf im Maximo der Dichtigkeit vorausgesetzt wird, über welches derselbe nie hinausgehen, wohl aber, namentlich in lufterfüllten Räumen, sich unter demselben befinden kann. Hat man also Grund zu vermuthen, dafs der Dampf dieses Maximum seiner Dichtigkeit nicht erreicht habe, so mufs man lieber etwas weniger in Rechnung bringen. Die zweite Columne der Tabelle ist blofs der interessanten Vergleichung wegen hinzugefügt, um neben dem Verhältnifs der Dichtigkeit des Dampfes gegen die des Wassers im Maximo seiner Dichtigkeit auch das gegen Luft bei 0° Temperatur und unter 28 Z. Barometerstand zu haben.

t	d	d'	t	d	d'
— 50	—	.000001	— 13	—	.000722
45	—	4	12	.000001	814
40	—	.000011	11	1	916
35	—	29	10	1	.001029
30	—	53	9	2	1154
29	—	79	8	2	1292
28	—	93	7	2	1444
27	—	.000108	6	2	1611
26	—	125	5	2	1795
25	—	145	4	3	1997
24	—	168	3	3	2221
23	—	194	2	3	2457
22	—	224	1	4	2720
21	—	257	0	4	3005
20	—	295	+ 1	4	3320
19	—	337	2	5	3659
18	—	385	3	5	4029
17	—	438	4	6	4429
16	—	498	5	6	4863
15	—	565	6	7	5332
14	—	639	7	8	5839

t	d	d'	t	d	d'
+ 8	.000008	.006387	+ 53	.000177	.13809
9	9	6978	54	187	.14548
10	.000010	7614	55	197	.15317
11	11	8300	56	207	.16120
12	12	9036	57	218	.16955
13	13	9827	58	229	.17825
14	14	.010675	59	240	.18729
15	15	11584	60	252	.19670
16	16	12557	61	265	.20649
17	17	13599	62	278	.21665
18	19	14711	63	292	.22721
19	20	15900	64	306	.23817
20	22	17167	65	320	.24954
21	24	18517	66	335	.26134
22	26	19955	67	351	.27357
23	28	21486	68	367	.28625
24	30	23113	69	384	.29989
25	32	24841	70	402	.31300
26	34	26674	71	420	.32709
27	37	28619	72	438	.34167
28	39	30680	73	458	.35676
29	42	32862	74	478	.37237
30	45	35171	75	499	.38849
31	48	37613	76	520	.40516
32	52	40198	77	542	.42239
33	55	42916	78	565	.44016
34	59	45790	79	588	.45852
35	63	48819	80	613	.47747
36	67	52018	81	638	.49702
37	71	55375	82	664	.51718
38	76	58911	83	690	.53796
39	81	62631	84	718	.55940
40	85	66541	85	746	.58147
41	91	70648	86	775	.60421
42	96	74957	87	805	.62764
43	.000102	79481	88	836	.65175
44	108	84221	89	868	.67657
45	114	89189	90	901	.70209
46	121	94391	91	935	.72837
47	128	99837	92	969	.75535
48	135	.10553	93	.001005	.78312
49	143	.11149	94	1041	.81165
50	151	.11772	95	1079	.84097
51	159	.12422	96	1118	.87106
52	168	.13101	97	1157	.90201

t	d	d′	t	d	d′
+ 98	.001198	.93373	+ 143	.004411	3,4380
99	1240	.96632	144	4520	3,5225
100	1283	.99975	145	4630	3,6085
101	1327	1,0340	146	4742	3,6960
102	1372	1,0692	147	4856	3,7849
103	1418	1,1053	148	4972	3,8752
104	1466	1,1423	149	5090	3,9672
105	1514	1,1802	150	5210	4,0606
106	1564	1,2190	151	5332	4,1556
107	1615	1,2588	152	5456	4,2521
108	1667	1,2995	153	5581	4,3501
109	1721	1,3412	154	5709	4,4496
110	1776	1,3839	155	5839	4,5510
111	1832	1,4276	156	5971	4,6538
112	1889	1,4725	157	6105	4,7583
113	1948	1,5181	158	6241	4,8644
114	2012	1,5649	159	6379	4,9720
115	2069	1,6128	160	6520	5,0814
116	2132	1,6616	161	6662	5,1923
117	2196	1,7117	162	6807	5,3049
118	2262	1,7628	163	6953	5,4193
119	2329	1,8150	164	7102	5,5353
120	2398	1,8684	165	7253	5,6530
121	2467	1,9229	166	7407	5,7726
122	2539	1,9788	167	7562	5,8940
123	2611	2,0354	168	7720	6,0168
124	2686	2,0933	169	7879	6,1410
125	2762	2,1525	170	8041	6,2673
126	2839	2,2129	171	8206	6,3954
127	2918	2,2746	172	8373	6,5254
128	2999	2,3374	173	8541	6,6570
129	3081	2,4016	174	8713	6,7905
130	3165	2,4670	175	8886	6,9258
131	3251	2,5336	176	9062	7,0629
132	3338	2,6016	177	9240	7,2018
133	3427	2,6709	178	9421	7,3424
134	3517	2,7414	179	9606	7,4851
135	3610	2,8133	180	9789	7,6296
136	3704	2,8864	181	9977	7,7759
137	3800	2,9612	182	.010167	7,9241
138	3897	3,0372	183	10360	8,0741
139	3996	3,1145	184	10554	8,2258
140	4097	3,1933	185	10752	8,3797
141	4200	3,2735	186	10952	8,5355
142	4305	3,3551	187	11154	8,6932

t	d	d′	t	d	d′
+ 188	.011359	8,8528	+ 365	.091357	71,202
189	11566	9,0143	370	94883	73,950
190	11776	9,1776	375	98474	76,748
191	11988	9,3431	380	.10213	79,596
192	12203	9,5104	385	.10584	82,492
193	12420	9,6799	390	.10962	85,434
194	12640	9,8512	395	.11345	88,424
195	12862	10,023	400	.11735	91,462
196	13087	10,200	405	.12131	94,543
197	13314	10,377	410	.12533	97,670
198	13544	10,556	415	.12939	100,84
199	13777	10,737	420	.13352	104,06
200	14012	10,921	425	.13769	107,32
205	15227	11,868	430	.14193	110,62
210	16508	12,866	435	.14622	113,96
215	17857	13,917	440	.15056	117,34
220	19273	15,021	445	.15496	120,76
225	20758	16,179	450	.15939	124,23
230	22313	17,390	455	.16388	127,72
235	23938	18,657	460	.16842	131,26
240	25634	19,979	465	.17301	134,84
245	27402	21,356	470	.17764	138,45
250	29241	22,790	475	.18232	142,10
255	31153	24,280	480	.18705	145,78
260	33137	25,826	485	.19181	149,50
265	35198	27,429	490	.19663	153,25
270	37331	29,089	495	.20148	157,03
275	39525	30,806	500	.20637	160,84
280	41800	32,578	510	.21629	168,57
285	44148	34,408	520	.22634	176,41
290	46568	36,294	530	.23655	184,37
295	49061	38,238	540	.24691	192,43
300	51627	40,237	550	.25739	200,60
305	54265	42,293	560	.26798	208,86
310	56973	44,404	570	.27873	217,23
315	59754	46,570	580	.28957	225,68
320	62604	48,791	590	.30052	234,22
325	65525	51,070	600	.31157	242,83
330	68516	53,400	610	.32272	251,52
335	71576	55,785	620	.33400	260,31
340	74705	58,224	630	.34528	269,10
345	77902	60,716	640	.35668	277,99
350	81167	63,260	650	.36805	286,93
355	84497	65,865	660	.37970	295,93
360	87894	68,503	670	.39130	304,97

t	d	d'	t	d	d'
+ 680	.40297	314,07	+ 850	.60632	472,55
690	.41468	323,19	860	.61839	481,96
700	.42645	332,37	870	.63045	491,36
710	.43827	341,58	880	.64251	500,76
720	.45012	350,82	890	.65455	510,14
730	.46201	360,08	900	.66658	519,52
740	.47394	369,38	910	.67859	528,88
750	.48589	378,70	920	.69059	538,23
760	.49788	388,03	930	.70257	547,57
770	.50987	397,38	940	.71450	556,90
780	.52189	406,75	950	.72647	566,20
790	.53392	416,13	960	.73840	575,49
800	.54591	425,52	970	.75029	584,76
810	.55803	434,92	980	.76215	594,00
820	.57011	444,33	990	.77400	603,24
830	.58218	453,74	1000	.78580	612,43
840	.59425	463,15			

Es ist in vielen Fällen, namentlich bei der Untersuchung der Hydrometeore, interessant und wichtig, die Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Luft bei 28 Z. Bar. und derjenigen Temperatur zu kennen, welche zugleich gegeben ist, vorausgesetzt, dafs man den Dampf im Maximo seiner Dichtigkeit vorhanden seyend annehmen darf. Wird z. B. gefragt, den wie vielsten Theil einer gegebenen Menge von Luft mit Dampf im Maximo seiner Dichtigkeit gesättigt, dieser Dampf betrage, so giebt, das Ganze = 1 gesetzt, die Dichtigkeit des Dampfes = δ, diese leztere Gröfse die Menge des Dampfes und $1 - \delta$ die Menge der Luft. Um indefs diesen Werth von δ zu erhalten, darf man nur die in der vorstehenden Tabelle enthaltenen Werthe unter d' mit

$$1 + \frac{t}{213}$$ multipliciren, weil die Dichtigkeit der Dämpfe in eben dem Verhältnisse wächst, als die der Luft vermöge ihrer Ausdehnung durch Wärme abnimmt. Hiernach ist die nachstehende Tabelle berechnet, welche also unter δ die den Temperaturen zugehörige Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Luft unter 28 Z. Barometerdruck und bei der durch die Temperatur des Dampfes bedingten Dichtigkeit derselben enthält.

t	δ	t	δ	t	δ
− 50	.0000007	+ 5	.004977	+ 43	.095526
45	.000003	6	.005482	44	.10162
40	.000009	7	.006031	45	.10803
35	.000024	8	.006627	46	.11478
30	.000046	9	.007267	47	.12187
29	.000068	10	.007972	48	.12932
28	.000080	11	.008728	49	.13714
27	.000094	12	.009545	50	.14535
26	.000110	13	.010426	51	.15396
25	.000128	14	.011377	52	.16309
24	.000149	15	.012399	53	.17245
23	.000173	16	.013501	54	.18236
22	.000201	17	.014684	55	.19272
21	.000232	18	.015954	56	.20357
20	.000267	19	.017318	57	.21492
19	.000307	20	.018779	58	.22678
18	.000352	21	.020343	59	.23927
17	.000403	22	.022017	60	.25211
16	.000461	23	.023806	61	.26562
15	.000525	24	.025717	62	.27971
14	.000597	25	.027751	63	.29441
13	.000678	26	.029930	64	.30973
12	.000768	27	.032257	65	.32569
11	.000869	28	.034714	66	.34231
10	.000981	29	.037337	67	.35962
9	.001106	30	.040126	68	.37764
8	.001244	31	.043087	69	.39638
7	.001397	32	.046232	70	.41587
6	.001566	33	.049567	71	.43612
5	.001753	34	.053100	72	.45716
4	.001959	35	.056841	73	.47904
3	.002186	36	.060804	74	.50179
2	.002434	37	.064994	75	.52535
1	.002707	38	.069421	76	.54974
0	.003005	39	.074100	77	.57508
+ 1	.003335	40	.079037	78	.60134
2	.003694	41	.084324	79	.62855
3	.004085	42	.089736	80	.65681
4	.004512				

B. Alkoholdampf.

Der Versuche über die Dichtigkeit des *Alkoholdampfes* giebt es nur wenige. Dahin gehoren zwei Bestimmungen von

G. G. Schmidt [1], wonach die Dichtigkeit des Weingeistdampfes gegen Wasser bei 17°,5 R. = 0,0001123 und bei 63°,5, der Siedehitze desselben, = 0,00162 gefunden ist. Die letztere, am leichtesten mit Genauigkeit zu findende Gröfse stimmt mit der durch Gay-Lüssac erhaltenen, eben wie mit meinen eigenen, nach der Mayerschen Formel berechneten [2], bis auf eine verschwindende Gröfse überein. Gay-Lüssac [3] fand nämlich nach gehöriger Reduction des Barometerstandes und der Temperatur das Verhältnifs des Alkoholdampfes bei der Siedehitze im Maximo seiner Dichtigkeit gegen Luft = 1,613 : 1. Nimmt man aber das Verhältnifs der Dichtigkeiten von Luft bei 0° Temperatur und 28 Z. Barometerstand gegen Wasser im Maximo seiner Dichtigkeit = 0,00128308 : 1 und corrigirt dieses Verhältnifs für den Siedepunct des Alkohols, nämlich 63°,5 R. = 79°,4 C., so ergiebt sich die Dichtigkeit des Alkoholdampfes gegen Wasser = 0,0015948, welche Bestimmung mit der in der nachfolgenden Tabelle berechneten eine Differenz = — 0,0000095 giebt. Eine gleiche Uebereinstimmung mit dem nach der Mayerschen Formel und den aus meinen Versuchen hierfür gefundenen Constanten giebt ein Versuch, welchen v. Saussüre d. jüngere angestellt hat [4], wonach er bei 17° R. die Dichtigkeit des Alkoholdampfes gegen Wasser = 0,000097413 fand. Die Rechnung giebt 0,00009691 also beträgt der Unterschied + 0,000000503. Bei so genauer Uebereinstimmung aller Versuche mit der Rechnung trage ich kein Bedenken, in der nachfolgenden Tabelle die nach der Mayerschen Formel berechneten Dichtigkeiten des Alkoholdampfes herzusetzen, in welcher ich den Coëfficienten A = 0,016 aus meinen Versuchen gefunden habe, und wonach sie heifst

$$\delta = 0{,}016 \frac{e}{213 + t}.$$

wenn δ die Dichtigkeit gegen Wasser im Maximo seiner Dichtigkeit, e die Elasticität in Par. Zollen und t die Temperaturen

1 Handbuch d. Naturl. I. 298.
2 Phys. Abhandl. p. 242.
3 Despretz Traité. 123. Vergl. Ann. de Chim. LXXX. 218.
4 J. de Ph. LXIV. 316. daraus bei Gehlen J. IV. 60.

nach R. bezeichnet. Die Elasticitäten sind hierin aus der oben mitgetheilten Tabelle genommen.

t	δ gegen Wasser	gegen Alkohol = 0,792	t	δ gegen Wasser	gegen Alkohol = 0,792
— 30	.00000133	.00000168	+ 35	.00032535	.00041080
— 25	233	294	36	34622	43714
— 20	395	500	37	36823	46945
— 15	653	.00001262	38	39146	49438
— 10	.00001053	1329	39	41596	52521
— 5	1659	2095	40	44176	55777
0	2558	3230	41	46894	59210
1	2783	3514	42	49757	62842
2	3025	3820	43	52770	66629
3	3286	4194	44	55938	70628
4	3566	4503	45	59273	74840
5	3868	4883	46	62777	79264
6	4191	5292	47	66459	83912
7	4539	5731	48	70826	88295
8	4912	6202	49	74385	93921
9	5311	6706	50	78646	99301
10	5740	7248	51	83117	.0010494
11	6198	7826	52	87803	11086
12	6688	8445	53	92716	11706
13	7213	9107	54	97864	12356
14	7773	9814	55	.0010325	13037
15	8371	.00010570	56	10890	13570
16	9010	11376	57	11481	14496
17	9691	12236	58	12099	15277
18	.00010417	13153	59	12746	16093
19	11189	14128	60	13422	16947
20	12014	15169	61	14130	17839
21	12890	16275	62	14867	18771
22	13822	17452	63	15638	19745
23	14812	18702	64	16443	20761
24	15864	20030	65	17284	21822
25	16981	21441	66	18160	22930
26	18166	22937	67	19074	24084
27	19423	24525	68	20028	25288
28	20757	26208	69	21022	26452
29	22168	27990	70	22057	27580
30	23663	29877	71	23189	29279
31	25245	31875	72	24259	30631
32	26919	33899	73	25429	32108
33	28689	36224	74	26646	33642
34	30560	38585	75	27915	35234

t	δ gegen Wasser	gegen Alkohol = 0,792	t	δ gegen Wasser	gegen Alkohol = 0,792
+ 80	.0035040	.0044243	+ 120	.016900	.0213380
85	43653	55118	140	32469	409960
90	53990	68170	160	58163	734380
95	66315	83731	180	98187	.1239700
100	80921	.0101880	200	.157550	.1989300

C. Schwefelätherdampf.

Auch über die Dichtigkeit des *Schwefelätherdampfes* habe ich sowohl mit unreinem als auch mit ganz reinem Aether eine Reihe von Versuchen angestellt, und die Resultate mit denen durch die Berechnung nach der Mayerschen Formel erhaltenen verglichen [1]. Sie sind bei weitem leichter als die mit Wasser und Alkohol, weil der Aetherdampf ungleich dichter ist, und man daher mit weit gröfseren Mengen dieser Flüssigkeit arbeitet, und da jene Versuche mit andern genauen Beobachtungen sehr übereinstimmende Resultate geliefert haben, so ist nicht wohl zu erwarten, dafs diese sich von der Wahrheit bedeutend entfernen sollten. Der Apparat und die Art des Experimentirens waren übrigens die nämlichen als diejenigen, welche oben bei der Prüfung der Dichtigkeit des Wasserdampfes beschrieben sind. Werden die erhaltenen Resultate mit denen anderer Physiker verglichen, so ergiebt die Zusammenstellung Folgendes. Th. v. Saussüre [2] fand die Dichtigkeit des Aetherdampfes nach der Quantität, welche ein mit Luft erfüllter Raum aufzunehmen vermag, bei 18° R. = 0,0017524. Meine Versuche ergeben dagegen 0,0012095 gegen Wasser im Maximo der Dichtigkeit, und die Differenz beider beträgt also 0,00054. Indefs giebt v. Saussüre seinen Versuch nur für einen unvollkommenen, und das erhaltene Resultat für ein genähertes aus, auch findet er das letztere auf eine nicht hinlänglich scharfe Weise. Zugrofs ist gleichfalls die Bestimmung durch Gay-Lüssac [3], wonach die Dichtigkeit des Aetherdampfes bei

1. Phys. Abhandl. p. 259.
2. J. d. P. LXIV. 316. Gehlen J. IV. 48. G. XXIX. 125.
3. Ann. de Chim. LXXX. 218. daraus bei G. XLV. 333.

30°,4 R. als dem Siedepuncte des gebrauchten Aethers von 0,7365 sp. Gew. gegen Wasser 0,0028948 betragen soll, statt dafs aus meinen Versuchen 0,002168 folgt. Gegen atmosphärische Luft setzt derselbe [1] das constante Verhältnifs = 2,586. Wird diese Angabe nach dem Verhältnifs der Dichtigkeit der Luft zum Wasser, mit Weglassung der Correctionen für Wärme, Breite und Erhebung über die Meeresfläche = 0,00128308 : 1 auf Wasser reducirt, so giebt dieses für den Siedepunct des Aethers = 37° C. oder nahe 30° R. die Dichtigkeit des Dampfes = 0,002914, also gegen die aus meinen Versuchen erhaltene Bestimmung 0,000796 beträchtlich zu grofs. Soll dieses aber die Dichtigkeit bei der Siedehitze des Wassers bezeichnen, wie nach Despretz zu folgen scheint, so ist die Gröfse bedeutend zu klein. Indefs läfst sich die Dichtigkeit der Dämpfe im Maximo nicht auf die Weise, wie dort geschehen ist, auf höhere oder niedere Temperaturen reduciren, indem man ihre Ausdehnung derjenigen gleichsetzt, welche für atmosphärische Luft gefunden ist, weil hiernach bei zunehmenden Temperaturen der Dampf nicht im Maximo der Dichtigkeit bleibt, bei abnehmenden aber eine Quantität tropfbare Flüssigkeit ausgeschieden, und die Elasticität bedeutend vermindert wird.

Despretz [2] suchte vermittelst seines oben beschriebenen Apparates die Dichtigkeit des Aetherdampfes bei 9°,12 und 9°,65 R. zu bestimmen. Der Ballon hielt nach der Correction für die Wärme 9,37466 Litres, und der Dampf in demselben wog 3,197 und 4,967 Grammes, eine Differenz, welche gröfser ist, als dem Temperaturunterschiede zukommt. Indefs giebt jenes 0,00034102, dieses 0,00052983 gegen Wasser im Maximo der Dichtigkeit, wogegen ich 0,0007594 für 9° und 0,0008009 für 10° R. gefunden habe. Beide Bestimmungen bleiben also hinter den meinigen bedeutend zurück, und sind um so mehr gegen die durch Gay-Lüssac erhaltenen beträchtlich zu klein. Indefs mufs es auffallen, dafs Despretz zugleich die Elasticitäten = 3,154 und 4,891 Par. Zolle gefunden hat, folglich so klein, als mit keinen sonstigen Beobachtungen vereinbar ist. Wenn ich indefs die den angegebenen Elasticitäten

1 Despretz Traité. p. 123.
2 Ann. C. P. XXI. 149.

zukommenden Dichtigkeiten suche, so finde ich für jene nahe genau 0,00030, für diese nahe genau 0,0004190, beide Werthe mit den durch Despretz gefundenen so nahe übereinstimmend, daſs man hiernach berechtigt wird zu schlieſsen, der von ihm gewogene Dampf sey nicht gesättigt gewesen, ein Fehler, welcher nach meinen widerholten Erfahrungen bei dem von jenem Gelehrten gebrauchten Apparate schwer vermeidlich ist.

Die durch meine Versuche erhaltenen Werthe liegen sonach in der Mitte zwischen denen von Gay-Lüssac und von Despretz gefundenen, und ich muſs sie daher noch immer um so mehr für die genaueren halten, als der gebrauchte Apparat für so groſse Mengen von Flüssigkeit nicht füglich bedeutende Fehler zulieſs, und zugleich die Dichtigkeit des Aetherdampfes gegen Wasser im Maximo seiner Dichtigkeit ohne alle so leicht Irrungen herbeiführende Correctionen unmittelbar angab. Sucht man hiernach für die Mayersche Formel den constanten Factor A, so wird

$$\delta = 0{,}0179 \frac{e}{213 + t}$$

und hierin die oben gefundenen Werthe für e gesetzt, giebt folgende Dichtigkeiten für die Temperaturen = t nach R.

t	δ gegen Wasser	δ gegen Aether = 0,717	t	δ gegen Wasser	δ gegen Aether = 0,717
— 30	.0000605	.0000844	+ 6	.0006455	.0009002
— 25	888	.0001238	7	6813	9502
— 20	0001276	1780	8	7177	.0010010
— 15	2268	2513	9	7594	10592
— 10	2500	3488	10	8009	11172
— 5	3416	4765	11	8448	11775
— 4	3630	5062	12	8896	12408
— 3	3854	5376	13	9369	13068
— 2	4090	5711	14	9863	13756
— 1	4339	6051	15	.0010378	14475
0	4599	6415	16	10915	15224
1	4873	6797	17	11475	16004
2	5160	7197	18	12059	16818
3	5461	7618	19	12664	17663
4	5776	8263	20	13299	18548
5	6108	8519	21	13957	19467

t	δ gegen Wasser	δ gegen Aether = 0,717	t	δ gegen Wasser	δ gegen Aether = 0,717
+ 22	.0014642	.0020122	+ 50	.0048306	.0067372
23	15355	21416	52	52101	72664
24	16096	22449	54	56128	78282
25	16865	23522	56	60401	84241
26	17665	24637	58	64929	90556
27	18495	25795	60	69722	97239
28	19357	26997	62	74792	.010674
29	20298	28310	64	80148	11178
30	21180	29549	66	85804	11967
32	23140	32273	68	91773	12799
34	25245	35209	70	98040	13673
36	27503	38359	75	.0115250	16074
38	29923	41734	80	134730	18790
40	32512	45344	85	156670	21851
42	35279	49203	90	181280	25283
44	38232	53322	95	213620	29794
46	41382	57715	100	239330	33379
48	44736	63294			

D. Schwefelkohlenstoffdampf.

Hierüber kenne ich aufser der Bestimmung von Gay-Lüssac[1], welcher seine Dichtigkeit = 2,645 gegen Luft angiebt, nur noch die von Despretz[2] gefundene. Werden die in 5 Versuchen erhaltenen Gröfsen nach der mehrmals angewandten Methode auf Wasser im Maximo der Dichtigkeit und auf Luft bei 28 Z. Barometerstand und 0° Temperatur reducirt, so erhält man folgende Werthe:

t nach R.		δ gegen Wasser		δ gegen Luft
11°,82	—	0,0005540	—	0,43183
12°,21	—	0,0003504	—	0,27310
12°,25	—	0,0002958	—	0,23054
12°,69	—	0,0008738	—	0,68063
13°,29	—	0,0003237	—	0,25232

Diese Resultate stimmen weder unter einander überein, noch wachsen die Dichtigheiten mit den Temperaturen, und sind

1 Ann. de Chim. LXXX. 218. G. XLV. 338.

2 a. a. O.

daher noch neue Versuche erforderlich, um das Gesetz der Dichtigkeiten aufzufinden.

E. Terpentinspiritus-Dampf.

Gay-Lüssac [1] bestimmt die Dichtigkeit desselben gegen Luft als Einheit = 5,013, und da ein Litre bei 0° Temperatur und 0,76 Metres Barometerstand 6,515 Grammes wiegen soll, so wäre dieses 0,006515 gegen Wasser bei seiner gröſsten Dichtigkeit [2]. Dieser Dampf hätte sonach die gröſste Dichtigkeit, ohngeachtet der Siedepunct bei 120°,8 R. liegt [3]. Auch der Schwefelkohlenstoff siedet bei höherer Temperatur, als Schwefeläther, und giebt doch einen dichteren Dampf, weswegen das von Saussüre aufgestellte Gesetz, daſs die Dichtigkeiten der Dämpfe ihrem Siedepuncte umgekehrt proportional sey, nicht allgemein gültig ist.

F. Joddampf.

Dieser soll eine Dichtigkeit = 8,61 haben [4].

G. Hydriodnaphthadampf.

Die Dichtigkeit desselben wird von Gay-Lüssac [5] zu 5,475 angegeben, die atmosphärische Luft als Einheit genommen; den Siedepunct dieser Flüssigkeit aber findet er bei 65° C.

---

1 Despretz Traité. 128.

2 Daſs diese Bestimmung ungenau seyn müsse, folgt aus der Natur der Dämpfe, wie schon öfters bemerkt ist. Anstatt daſs nämlich der Dampf durch Verminderung der Temperatur dichter werden sollte, wird er vielmehr dünner, und die bei den Franzosen übliche Correction wegen der Ausdehnung expansibeler Flüssigkeiten durch Wärme ist daher auf Dämpfe durchaus nicht anwendbar. Nehmen wir aber den Siedepunct des Terpentinspiritus nur bei 125° C. an, setzen die übrigen Bestimmungen als richtig voraus, obgleich nicht abzusehen ist, wie Gay-Lüssac mit seinem Apparate Temperaturen über dem Siedepuncte messen konnte, und corrigiren so wieder rückwärts, so ist die Dichtigkeit des Terpentinspiritusdampfes bei der Siedehitze gegen Wasser = 0,003054.

3 Die Angaben des Siedepunctes dieser Flüssigkeit sind sehr verschieden.

4 Despretz a. a. O. p. 99.

5 Ann. de Chim. XCI. 95 u. 150. Ann. C. P. I. 218.

H. Salzätherdampf.

Soll nach Thénard [1] eine Dichtigkeit = 2,219 haben, den Siedepunct bei 11° C.

I. Blausäuredampf.

Hat nach Gay-Lüssac [2] eine Dichtigkeit = 0,948, den Siedepunct bei 26°,5 C.

4. Dämpfe unter dem Maximo ihrer Dichtigkeit.

Alle diese Untersuchungen gelten bloſs für Dämpfe im Maximo ihrer Dichtigkeit, oder aber wenn ein gegebener Raum so viel Flüssigkeit in Dampfform enthält, als er zu fassen vermag, in welchem Zustande allein gewisse feste Gesetze seines Verhaltens aufgefunden werden können. Daſs es keinen Zustand der Dämpfe *über* dieses Maximum ihrer Dichtigkeit geben könne, versteht sich von selbst. Indeſs befinden sie sich nicht allezeit in diesem Zustande der Sättigung, oder der vollen Dichtigkeit, weil sie als expansibele Substanzen dem Bestreben nach Expansion folgen, und sich daher in jeden beliebigen Raum auszudehnen vermögen, so weit das *Mariottesche Gesetz* gültig ist. Höchst wahrscheinlich leidet dieses Gesetz eine vollständige Anwendung auch auf die Dämpfe so lange, bis sie das Maximum ihrer Dichtigkeit erreichen [3], in welchem Falle sie den eben untersuchten Gesetzen folgen. Es versteht sich indeſs leicht, daſs über dieselben, so lange sie sich nicht im Zustande der vollen Dichtigkeit befinden, keine besonderen Gesetze aufgestellt werden können, und man hierbei auf die über die expansibelen Flüssigkeiten überhaupt bekannten zurückkommen muſs.

5. Gemischte Dämpfe.

Die bisher untersuchten Gesetze der latenten Wärme, der Elasticitäten und Dichtigkeiten der Dämpfe sind nur so lange

---

1 Mém. de la Soc. d'Arcueil. I. 121.
2 a. a. O.
3 Ueber ihre Ausdehnung durch Wärme vergl. *Ausdehnung*.

gültig, als die Flüssigkeiten, woraus dieselben gebildet wurden, sich im Zustande der Reinheit befinden, werden aber abgeändert, sobald ihnen heterogene Körper beigemischt sind. Namentlich zeigt sich in dieser Hinsicht ein merkwürdiges Verhalten der Elasticitäten. Wasser mit Kochsalz verbunden siedet bei höherer Temperatur als reines, und seine Dämpfe können daher bei der Siedehitze des letzteren diejenige Elasticität nicht haben, welche den aus reinem Wasser gebildeten eigen ist, obgleich beide, einmal gebildet, reine Wasserdämpfe sind. Noch auffallender zeigt sich dieses Phänomen, wenn man in dem Quecksilber einer torricellischen Röhre, in deren oberem Ende sich etwas Wasser und somit auch Wasserdampf befindet, eine kleine Quantität Soda aufsteigen läſst. Sobald diese das Wasser erreicht, und sich damit verbindet, verlieren die Dämpfe von ihrer Elasticität, obgleich sie nicht das Mindeste von der Soda in sich aufnehmen. Biot [1] erklärt dieses Phänomen aus den Gesetzen der Affinität. Diejenigen Dampfschichten nämlich, welche die Lage der Flüssigkeiten unmittelbar berühren, werden von derselben angezogen, und ihre Spannung kann nicht gröſser seyn, als es die Leichtigkeit verstattet, womit die gegebene Flüssigkeit die Dampfbildung erlaubt, oder die Dämpfe bei der jedesmaligen Temperatur ausgestoſsen werden. Indem sich dieses aber auf die nachfolgenden Schichten fortpflanzt, muſs die Elasticität im Allgemeinen vermindert werden.

Befinden sich Dämpfe von zwei oder mehreren Flüssigkeiten in einem gegebenen Raume, so ist ihre Elasticität nicht mehr derjenigen gleich, welche die am meisten elastischen ausüben, sondern wahrscheinlich der Summe derjenigen, welche beiden nach dem Verhältniſs ihrer Mischung zukommen, wenn sie anders neben einander bestehen. Hierüber haben wir sehr interessante Versuche von Gay-Lüssac [2]. Desormes und Clément hatten nämlich gefunden, daſs die Elasticität des Aetherdampfes im torricellischen Raume durch Zusatz von etwas Wasser vergröſsert wurde, und wuſsten dieses anscheinend

1 Traité I. 286.

2 Berthollet Essay de Statique chim. Par. 1803. T. I. not. 17. Daraus bei G. XXIX. 113. Vergl. XIV. 100.

paradaxe Phänomen nicht zu erklären. GAY-LÜSSAC aber zeigte sehr genügend, dafs das zugesetzte Wasser den dem Aether beigemischten Alkohol gebunden habe, wodurch die Aetherdämpfe ihre Elasticität frei üben konnten, welches auch aus directen hierüber angestellten Versuchen unmittelbar folgte. Zugleich aber zeigte sich hierbei, dafs Wasser und Alkohol einander banden, indem sonst zu der Elasticität der früher bestehenden Dämpfe noch die der Wasserdämpfe hätten hinzukommen müssen. Auch ich selbst habe die Elasticitäten des unreinen Aethers allezeit bedeutend geringer gefunden [1], als die des reinen, und es ergiebt sich daraus, dafs man bei den Untersuchungen hierüber vorzüglich für die Anwendung reiner Flüssigkeiten Sorge tragen mufs.

Dämpfe von zwei oder mehreren Flüssigkeiten in einem gemeinschaftlichen Raume bestehen in der Art neben einander, dafs eine jede eine ihrer verhältnifsmäfsigen Quantität proportionale Menge liefert. Auch hierüber hat GAY-LÜSSAC Versuche angestellt [2]. Nach ihm liefert 1 Gram Wasser 1,696 Litres und 1 Gram Alkohol 0,659 Litres Dampf. Nach Rechnung mufste daher 1 Gr. einer Mischung von gleichen Theilen beider $\frac{1,696 + 0,659}{2} = 1,178$ liefern, statt dessen der Versuch 1,1815 gab, also eine Differenz von 0,0035. Eine Mischung von 1 Th. Wasser und 2 Th. Alkohol mufste nach Rechnung $\frac{1,696 + 1,318}{3} = 1,005$ liefern, wofür der Versuch 1,0056 gab. Auffallend ist hierbei, dafs die durch Versuche gefundenen Räume allezeit gröfser waren, als diejenigen, welche durch die Rechnung gegeben wurden, welches eigentlich mit der starken Verwandtschaft beider Flüssigkeiten zu einander im Widerspruche steht.

DALTON [3] hat das nach ihm benannte Gesetz aufgestellt, dafs die Elasticität einer Mischung von Gasarten und Dämpfen

1 Physical. Abh. p. 263.
2 Biot Traité. I. 298.
3 Manchester Mem. V. 543. Bibl. Brit. XX. 325. Nichols. J. V. 241. G. XII. 385.

der Summe der Elasticitäten beider gleich ist, oder mit anderen Worten, dafs die Elasticität der Luft und Gasarten durch Zusatz von Dämpfen um so viel vermehrt wird, als die der Temperatur zukommende Elasticität des Dampfes beträgt. Die Richtigkeit dieses Gesetzes zeigt GAY-LÜSSAC durch einen sinnreich construirten Apparat [1]. Eine Glasröhre MM, genau nach einem beliebigen Mafse getheilt, ist oben und unten mit den eisernen Fassungen A, B versehen. Unten befindet sich die 1,5 bis 2 Lin. weite gekrümmte Röhre TT'. Nachdem der Apparat vollkommen getrocknet ist, füllt man durch den oberen Hahn R' trocknes Quecksilber hinein, schraubt den Ballon D auf, welcher mit der zu prüfenden, völlig trocknen Gasart angefüllt ist, öffnet die Hähne R' und r, demnächst den Hahn R, worauf ein Theil des Quecksilbers ausläuft, und das Gas in die Röhre tritt. Ist die letztere mit einer hinlänglichen Quantität erfüllt, so wird das Quecksilber in h niedriger stehen, weil das aus D strömende Gas eine geringere Elasticität, als die der äufseren Luft besitzt, worauf das Gleichgewicht durch Zugiefsen von etwas Quecksilber in die engere Röhre hergestellt wird. Um dann die Feuchtigkeit in den Apparat zu bringen, schraubt man den Ballon ab, und statt dessen den Trichter V mit dem Hahn R'' auf, welcher letztere an der Seite bei o gefurcht ist. Durch Umdrehen desselben laufen einigen Tropfen Feuchtigkeit aus dem Trichter in die Röhre MM, welche nur allmälig verdampfen, und wobei man sich überzeugen mufs, dafs eine hinlängliche Menge der Flüssigkeit zur Erzeugung eines gesättigten Dampfes vorhanden ist, indem man durch Oeffnen und Verschliefsen der Hähne R' und R'' stets mehr Feuchtigkeit in den Apparat lassen kann. So wie der Dampf entsteht, sinkt das Quecksilber bei H stets tiefer herab, bis der Punct der Sättigung eintritt, nach welchem weder eine Verdampfung noch eine Vermehrung der Elasticität weiter erfolgt. Indem dann aber das Quecksilber bei H niedriger steht als bei h, so läfst man abermals so viel Quecksilber auslaufen, bis es in beiden Schenkeln gleiches Niveau hat. War aber der Raum, welchen das Gas allein einnahm $= N$, der Druck der Atmosphäre $= p$, der nachher durch die Mischung eingenommene Raum $= N'$,

Fig. 119.

1 Biot Traité. I. 301.

so ist die Elasticität des Gases $= \frac{p\,N}{N'}$, und wenn f die Elasticität des Dampfes heifst, so ist die Elasticität der Mischung $= f + \frac{p\,N}{N'} = p$ woraus

$$f = p.\,\frac{N' - N}{N'}$$

gefunden wird. Die Erfahrung ergiebt, dafs hierbei f allezeit der Elasticität des Dampfes gleich ist, welche der jedesmaligen Temperatur zugehört, weswegen man

$$N' = \frac{p}{p - f}\,N$$

in Voraus berechnen kann. Der Werth von N' wird unendlich, wenn $p = f$ ist, d. h. wenn der Dampf gleiche Elasticität mit der Gasart hat, so wird er den Raum ohne Ende erfüllen, und die Luft daraus vertreiben. Ist der Dampf nicht gesättigt, so wird er dennoch eine, obgleich geringere Elasticität zeigen, welche gleichfalls durch die Formel gefunden werden kann.

Aendert sich die Temperatur und der Druck, während man ein Gemisch von Luft und Dampf eingeschlossen hat, oder wenn man ein Gemisch von Luft und Dampf unter dem Drucke einer Quecksilbersäule sperrt, so sey der gemeinschaftliche Druck der Luft und der Quecksilbersäule $= p + h$. Ist dann die Spannung des Dampfes, so lange er nebst der Gasart den Raum N' erfüllte $= f$, so ist die Elasticität der Luft $= p + h - f$. Wird dann die Temperatur erhöhet, so dafs die Elasticität des Dampfes $= f'$, der Raum aber, welchen die Mischung einnimmt, $= N''$ wird, so ist die Elasticität derselben $= (p + h - f)\,\frac{N'}{N''}$ und es mufs

$$f' + (p + h - f)\,\frac{N'}{N''} = p + h \text{ seyn,}$$

woraus

$$f' = p + h - (p + h - f)\,\frac{N'}{N''}$$

gefunden wird, vorausgesetzt, dafs die Gasarten die Dämpfe nicht in sich aufnehmen, sie nicht absorbiren. Hält man ein Gemisch von Gas und Dampf mehrere Tage gesperrt, ändert

sich die Temperatur und der Druck, und somit auch der Raum, welchen die Mischung einnahm, und will man wissen, ob die letztere Veränderung blofs eine Folge der Veränderung der Temperatur und des Luftdruckes ist, oder ob sich Gas erzeugt hat oder absorbirt ist, so läfst sich dieses auf folgende Weise finden. War früher die Elasticität des Gases $= p$, des Dampfes $= f$ und die Temperatur $= t$, und sind diese nachher $= p'$, f' und t' geworden, so ist

$$p' = f' + \frac{(p-f)\,(1+t'.\,0{,}00375)}{1+t.\,0{,}00375}$$

welcher Werth von p' mit dem beobachteten verglichen zeigt, ob eine Endbindung oder Absorption einer elastischen Flüssigkeit statt gefunden hat.

Ist umgekehrt eine Mischung von Gas und Dampf so eingeschlossen, dafs sie eine geringere Dichtigkeit hat als die atmosphärische Luft, und durch eine Quecksilbersäule ausgedehnt wird, z. B. wenn sie sich über dem Quecksilber in einer Barometerröhre befindet, so sey im Anfange der Luftdruck $= p$, die Temperatur $= t$, der erfüllte Raum $= N$, die Höhe der über das Niveau angehobenen Quecksilbersäule $= h$; nachher werden diese Gröfsen p', t', N' und h', so war die anfängliche Elasticität der Gasart $= p - f - h$; wenn f die Elasticität des Dampfes bezeichnet, und wenn diese nachher $= f'$ wird, so ist

$$f' + \frac{N\,(p-f-h)\,(1+t'.0{,}00375)}{N'\,(1+t.\,0{,}00375)} = p' - h'$$

also $$f' = p' - h' - \frac{N\,(p-f-h)\,(1+t'.0{,}00375)}{N'\,(1+t.\,0{,}00375)}.$$

Unmittelbar mit dieser Untersuchung zusammenhängend und in gewisser Rücksicht schon durch dieselbe beantwortet ist die früher vielfach aufgeworfene Frage, ob im luftleeren und im lufterfüllten Raume gleiche Mengen Dampf enthalten seyn können. Auf den ersten Blick sollte man vermuthen, es sey unmöglich, dafs ein Raum, worin sich schon eine elastische Flüssigkeit befindet, eine andere auf gleiche Weise aufnehmen könne, als ein leerer, und wirklich erklärt auch Zylius [1], dafs

1 G. VII. 348.

er diese Unmöglichkeit als nothwendig erkenne. Indefs wurde diese Frage schon früher durch den älteren v. SAUSSÜRE [1], und zu widerholten Malen durch DE LÜC [2] bejahend beantwortet. TRALLES [3] behauptet ganz allgemein, der Druck der Luft zersetze keinen Dampf, und eben so VOLTA [4], dafs die Dichtigkeit der Dämpfe keinesweges vom Luftdrucke, sondern blofs von der Temperatur abhänge. Auch CLÉMENT und DÉSORMES [5] folgerten dieses aus ihren Versuchen, und nachdem sich in Gemäfsheit der Versuche von SAUSSÜRE, WATT, GAY-LÜSSAC u. a. auch LA PLACE dafür erklärt hatte, nahm HAÜY [6] diesen Satz als einen physikalischen Lehrsatz auf. Anfangs galt derselbe indefs blofs für Wasserdämpfe, aber der jüngere v. SAUSSÜRE [7] zeigte das Nämliche auch für Aetherdampf. Insbesondere macht dieser Satz einen Haupttheil der sogenannten *Dalton'schen Theorie* [8] aus, und ist seit jener Zeit allgemein, z. B. von SOLDNER [9], BIOT [10] u. a. als unbestreitbares Gesetz angenommen. Einige Versuche, welche ich selbst [11] mit grofser Sorgfalt angestellt habe, konnten daher einen unlängst ausgemachten Satz nur bestätigen.

Durch die Erfahrung ist dieser Satz indefs nur bis zum einfachen, und allenfalls bis zum dreifachen, oder auch höchstens vierfachen Luftdrucke erwiesen, wenn man nicht als Beweis dafür anführen will, dafs sich bei der Compression der gemeinen, also auch Wasserdampfhaltigen Luft, wie weit man dieselbe auch treiben mochte, noch nie ein tropfbar flüssiger Niederschlag gezeigt hat. Dafs derselbe aber nicht bis ins Unendliche gültig seyn könne, eben wie das Mariottesche Gesetz,

---

1 Hygrom. p. 128.

2 Phil. Tr. 1792. 403. J. d. Ph. XXXVI. 204. Idées sur la Météorol. I. 1. §. 14. G. XLI. 168.

3 G. XXVIII. 481.

4 Gren N. J. III. 479.

5 G. XIII. 144.

6 Traité élém. de Phys. 1re éd. I. 182.

7 Gehlen N. J. IV. 94.

8 Vergl. Th. I. p. 488.

9 G. XXXII. 205.

10 G. XXXV. 425.

11 Physical. Abh. p. 359.

folgt aus der Natur der Sache, und der Analogie nach noch mehr aus den oben erwähnten Versuchen, wonach die Gasarten selbst vermuthlich alle durch sehr starke Compression tropfbar flüssig werden. Merkwürdig ist in dieser Beziehung die Beobachtung, welche J. Roebuck [1] im Windkasten des Hohofens zu Devonshire machte, nämlich dafs beim Anlassen des Gebläses und entstehender Compression der Luft, eben wie beim Aufhören derselben ein bedeutender Niederschlag von Wasserdampf in Gestalt eines ziemlich dichten Nebels entstand.

Die Frage endlich, ob gesättigte Dämpfe, oder Dämpfe im Maximo ihrer Dichtigkeit, von zwei oder mehreren tropfbaren Flüssigkeiten in dem nämlichen Raume zugleich mit Luft vereinigt neben einander bestehen können, ist bis jetzt, so viel ich weifs, noch nicht beantwortet. Ein einziger Versuch, welchen ich gelegentlich angestellt habe, indem ich Aetherdampf und mit Feuchtigkeit gesättigte Luft in dem zu meinen Versuchen gebrauchten Ballon vereinigte, fiel verneinend aus; welches ich auch nach theoretischen Gründen für wahrscheinlich halte [2].

6. Anwendung der Dämpfe.

Die Dämpfe der verschiedenen Flüssigkeiten, hauptsächlich des Wassers, werden so vielfach und zu so verschiedenen Zwekken theils durch die Natur selbst in Anwendung gebracht, theils künstlich von den Menschen benutzt, dafs es kaum möglich ist, alles hierhergehörige vollständig zusammenzustellen. So benutzt man sie unter andern zur Vertreibung der Luft aus Gefäfsen, wenn man diese nachher durch den Luftdruck mit einer Flüssigkeit anfüllen will, im Grofsen zur Hervorbringung eines luftleeren Raumes, ferner zur Abkühlung, z. B. der Weinflaschen auf Schiffen, indem man sie mit einem nassen Tuche umgiebt und dem Luftzuge aussetzt, oder selbst einzelner Theile des menschlichen Körpers, indem man Weingeist, kölnisches Wasser oder Schwefeläther auftröpfelt und einen darüber hinstreichenden Luftzug erzeugt; zuweilen verwandelt man die

1 G. IX. 45.
2 Physical. Abh. p. 363.

Flüssigkeiten in Dämpfe, um sie auf diese Weise zu zerlegen oder ihre Verbindung mit andern Substanzen zu erleichtern, u. dgl. m. Hauptsächlich aber werden die Dämpfe zu folgenden drei Zwekken benutzt:

1. Als bewegendes Mittel.

Als solches zeigt sich der Dampf durch sein Blasen nach Art der ausströmenden Luft bei der Dampfkugel [1], als mechanisch drückendes und durch Reaction wirkendes Mittel bei einigen Arten Dampfmaschinen, in gewisser Hinsicht beim Zurückweichen des Geschützes, hauptsächlich aber durch seine Elasticität wirkend bei den Dampfmaschinen [2] überhaupt und den neuerdings erfundenen Dampfkanonen [3].

2. Als Mittel der Erwärmung und Heizung.

Wegen der grofsen latenten Wärme der Dämpfe, welche durch das Niederschlagen derselben wieder frei wird, müssen sie alle diejenigen Räume, in denen sie aufsteigen, auch nachdem sie niedergeschlagen sind, durch ihre Abkühlung, bedeutend erwärmen. Dieses zeigt sich insbesondere in den Zimmern heifser Bäder, Brauereien, Brennereien u. dgl. Man wendet sie indefs auch künstlich zur Heizung von Zimmern an, entweder in solchen Fabrikanstalten, in denen die Maschinerie durch Dampf bewegt wird, dieser dann von noch bedeutender Hitze unbenutzt verloren würde, und daher zur Erwärmung der Zimmer vortheilhaft verwandt werden kann; oder nach absichtlicher Bereitung für solche Zimmer, worin sich Substanzen befinden, welche durch höhere Hitzegrade leicht verdorben werden oder explodiren könnten, als Malz, Kräuter, Schiefspulver u. dgl. Den ersten Vorschlag hierzu scheint W. Cook gethan zu haben, indefs wurde vor dem Ende des vorigen Jahrhunderts wenig Gebrauch von diesem Mittel gemacht [4].

---

1 S. *Dampfkugel.*
2 S. *Dampfmaschinen.*
3 S. *Dampfkanonen.*
4 Phil. Tr. 1745. Vergl. Buchanan in Bibl. Brit. XLIII. 281.

Der Dampf, dessen man sich hierzu bedient, mufs schon der Sicherheit wegen nur von einfacher Pressung seyn, das Sicherheitsventil aber unzugänglich für den Heizer. Der Dampfkessel hat die Einrichtung eines gewöhnlichen bei den Dampfmaschinen. Aus diesem gehen die Röhren, und hieraus erforderlichen Falls wieder kleinere, die man meistens abhängig macht, damit das condensirte Wasser wieder in den Kessel zurückläuft, wo dieses aber nicht angeht, läuft das Wasser durch einen umgekehrten Heber ab, wobei man eine Wassersäule von etwa 9 F. dem Drucke des Dampfes entgegensetzt. Auf allen Fall mufs ein Mechanismus angebracht seyn, um die Luft aus den Röhren zu entfernen, wenn sie sich mit Dampf zu füllen anfangen, welcher meistens aus einem Ventile besteht, das sich durch die Zusammenziehung der Röhre beim Erkalten öffnet, und beim Erwärmen derselben durch den Dampf wieder schliefst. Weil die Luft schwerer ist als der Dampf, so mufs ihr Ausgang an einer niedrigen Stelle seyn. Für den gewöhnlichen Gebrauch reichen gut gegossene eiserne Röhren von 8 bis 5 Z. innerem Durchmesser und, der Strahlung wegen, nicht blanker Oberfläche hin; indefs bedient man sich auch der Doppelcylinder, welche gleich einem Ofen im Zimmer stehen, in deren inneren Raum man die Luft durch die Röhre A steigen, und erwärmt durch eine obere Oeffnung E entweichen läfst, welche Strömung durch das Ventil D regulirt werden kann. Im Zwischenraume a,a verbreitet sich der durch das Rohr B zugeführte Dampf, und das condensirte Wasser läuft durch das Rohr C wieder ab. Die Höhe eines solchen Ofens ist ohngefähr 8 F., und eine etwas rauhe, bronzirte Oberfläche leistet gute Dienste. Um die erforderliche Röhrenoberfläche = S zu bestimmen, wodurch eine gewisse Menge von Kubikfufsen Luft = C in einer Minute von der Temperatur = t zur Temperatur = T erwärmt werden sollen, giebt TREDGOLD[1] die auf Centesimalgrade reducirte Formel

Fig. 120.

$$S = \frac{0{,}48\ C\ (T - t)}{93{,}3334 - T}.$$

1 Edinburg Phil. Journal N. XXIV. p. 269. Die Gründe dieser Formel finden sich in desselben: Principles of Warming and Ventilating public Buildings. cet. Lond. 1824. 8. p. 161. im Auszuge in Bibl. univ. XXVI. 291. XXVII. 61.

Bringt man in den zu erheizenden Zimmern zugleich einen Ventilator an, so kann vermittelst des eben beschriebenen Ofens die von Aufsen zugelassene, durch das Ventil D regulirte Luftmenge sogleich bei ihrem Eintritte in die Zimmer erwärmt werden. Das warme Wasser fliefst in der Regel wieder in den Kessel zurück, und man verliert auf diese Weise nicht viel Wärme durch Zuführung des kalten Wassers in denselben zur fortwährenden Heizung, kann übrigens das erwärmte auch zu allerlei häuslichen Bedürfnissen verwenden [1]. Dafs man übrigens den Kesseln eine solche Einrichtung geben müsse, wie sie mit dem geringsten Aufwande von Brennmaterial am vortheilhaftesten geheizt werden können, versteht sich von selbst [2].

Auch Flüssigkeiten vermittelst hineingeleiteter Dämpfe zu erwärmen oder auch zum Sieden zu bringen, kannte man schon lange; in den neueren Zeiten ist diese Methode aber vorzüglich empfohlen durch Rumford [3], und auch an mehreren Orten, namentlich zur Heizung der Bäder in Anwendung gebracht. Die Apparate hierzu bestehen im Allgemeinen aus einem Dampfkessel mit einem festschliefsenden Deckel, in welchem sich ein heberförmig gebogenes Rohr befindet, um die Dämpfe in die zu erheizenden Flüssigkeiten hinüberzuführen, in denen es aber bis auf den Boden herabgehen mufs, damit nicht die heifseren Theile oben statisch schwimmen, und die unteren kalt bleiben. Hierbei zeigt sich das von mehreren beobachtete Phänomen, dafs die Dämpfe am Boden mit einem bedeutenden Getöse und heftiger Erschütterung der Gefäfse niedergeschlagen werden.

Manche hegen die Meinung, als ob hierdurch eine grofse Ersparung des Brennmaterials erreicht werden könne. Im

---

1 Tredgold a. a. O. Sonst findet man Vorschriften zur Anlegung solcher Apparate von Snodgrass in Nicholsons Journal 1807. Mai. daraus bei G. XXXIII. 395., ausführlich von Buchanan in Practical and descriptive Essay's on the economy of Combustibles and the employment of heat cet. Glasgow 1810. 8. Vergl. G. XLVII. 348. Bibl. Brit. XLVI. 315., von Prechtl in: Anleitung zur Beleuchtung mit Steinkohlengas. Wien. 1817. 8. p. 106. ff.

2 Vergl. *Dampfmaschinen*.

3 Journ. of the Royal Inst. I. 34. J. d. P. LXVI. 121. Bibl. Brit. XLIII. 281. G. XIII. 385.

Allgemeinen ist dieses nicht der Fall, indem die erforderliche Wärme allezeit erst dem Dampfe mitgetheilt werden muſs, und von diesem dann an die zu erheizenden Flüssigkeiten abgegeben wird, wobei während der Fortleitung doch aller Sorgfalt ungeachtet stets etwas verloren werden muſs, weswegen auch mehrere Einrichtungen dieser Art wieder mit den gewöhnlichen Heizungsarten vertauscht sind. Dem Wärmeverluste bei der Zuführung des Dampfes begegnet man übrigens am besten durch eine blanke Oberfläche des Zuleitungsrohrs, wobei die Ausstrahlung bekanntlich am geringsten ist, oder durch Umgeben desselben mit schlechten Wärmeleitern, als Papier, Wolle u. dgl. und Einschlieſsung des so umwickelten Rohres in eine hölzerne Röhre. Einen groſsen Vortheil für Ersparung des Brennmaterials erreicht man indeſs mittelst einer solchen Vorrichtung ganz entschieden dadurch, daſs man den Heizungsapparat hierfür weit zweckmäſsiger einrichten kann, als wenn man die einzelnen Gefäſse dem, noch dazu nicht selten offenen, Feuer aussetzt, statt daſs der allgemeine Heizkessel ringsum eingeschlossen und mit bester Benutzung des Brennmaterials geheizt werden kann. Auſserdem aber läſst sich die Heizung durch Dampf in allen denjenigen Fällen vortheilhaft anwenden, wenn man zugleich das Anbrennen der Stoffe vermeiden will, z. B. bei Farbekesseln und beim Seifensieden, indem noch obendrein das sonst erforderliche lästige Umrühren hierbei wegfällt, insofern die oben erwähnte Erschütterung ein stetes Wallen der Flüssigkeiten herbeiführt. Wirklich sind auch für die genannten Zwekke verschiedene solche Dampfheizapparate mit entschiedenem Nutzen eingerichtet [1].

Dahin gehören namentlich auch die durch Parmentier, Cadet-de-Vaux u. a. empfohlenen amerikanischen Kochtöpfe, blechene, in mehrere Abtheilungen getheilte Kessel mit einem durchlöcherten Boden und siebförmigen Wänden, welche in einem andern, mit etwas Wasser gefüllten Topfe oder Kessel auf Füſsen stehen, so daſs, wenn der letztere über Feuer erhitzt

1 Rumford bei G. LIV. 151. Vorschläge zu zweckmäſsigen Einrichtungen S. Repertory of Arts Manuf. and Sc. 1824. Jan. p. 74. Von Perkins in Lond. Journ. of Arts and Sc. N. XXXVI. p. 293.

wird, die aus dem Wasser gebildeten, durch die Löcher des ersten Kessels dringenden, Dämpfe die Speisen gar kochen [1].

3. Als auflösendes Mittel.

Der Dampf durchdringt die Gegenstände leicht und oft inniger als die Flüssigkeiten selbst, aus denen er gebildet ist. Man benutzt ihn daher als auflösendes Mittel des Schmutzes und der färbenden Stoffe neuer Zeuge zum Vorbereiten des Bleichens. Aufserdem kann man ihre Hitze leicht in verschlossenen Gefäfsen bedeutend über die gewöhnliche Siedehitze der Flüssigkeiten erhöhen, woraus sie gebildet werden, und sie wirken dann desto stärker auf die aufzulösenden Substanzen. Namentlich läfst sich daher dieses Mittel bei leicht verdampfenden Flüssigkeiten, z. B. denen, die zur Firnifsbereitung dienen, benutzen. Hierzu, eben wie zur Auflösung der Knochen und des daraus zu gewinnenden Bouillon und zu ähnlichen Zwecken bedient man sich mit Vortheil der Digestoren [2]. *M.*

Dampfkanone.

Die Elasticität der Wasserdämpfe statt der aus dem Schiefspulver entwickelten expansibelen Flüssigkeiten zum Fortschleudern der Geschützkugeln zu benutzen hat schon Papinus vorgeschlagen, in noch gröfserem Detail aber Vauban [3]. Dieser will nach seinen Beobachtungen gefunden haben, dafs 140 ℔ Wasser, in Dampf aufgelöset, eine Kraft ausüben, welche 77000 ℔ zu bewegen vermag, eine gleiche Quantität Schiefspulver aber nur 30000 ℔. Allein diese Behauptung stimmt nicht mit den Versuchen Rumford's [4] überein, wonach das entzündete, und enge eingeschlossene Schiefspulver mit einer Kraft von 30000 ja 60000 und noch wohl mehrerer Atmosphären explodiren soll. Neuerdings hat indefs Perkins mit Kanonen, welche die Kugeln vermittelst sehr heifser Dämpfe fortschleudern, Versuche angestellt, und nach den Berichten

---

1 Décade philosoph. An X. p. 210. G. XI. 244.
2 S. *Digestor.*
3 Mém. de l'Acad. 1707.
4 S. *Schiefspulver.*

in öffentlichen Blättern sollen diese den Beifall der Kenner erhalten haben [1]. Nicht bloſs sollen die Dämpfe die Kugeln auf gleiche Entfernungen schleudern, als man bisher vermittelst des Schieſspulvers dieselben zu werfen vermochte, sondern noch weiter. Sollte sich dieses wirklich bestätigen, so könnte vielleicht der Grund darin liegen, daſs nach Rumfords Versuchen die aus dem Pulver entwickelten Gasarten durch sehr starken Druck zum Theil in feste Substanzen verwandelt werden, welches dann bei den Wasserdämpfen nicht der Fall seyn müſste. Wenn man ferner annimmt, daſs die Gewalt, womit das explodirende Schieſspulver die Kugeln fortschleudert, 2200 Atmosphären beträgt [2], so würden nach der Mayerschen Formel ohngefähr 705° R. oder nahe 881° C. erfordert werden, um den Wasserdämpfen diese Elasticität zu geben. Man setzt aber den Schmelzpunct des Eisens auf 7577° und des Kupfers auf 1608° C., also könnte in beiden Metallen den Dämpfen diese Hitze geben werden, wobei es aber fraglich ist, ob sie dann Cohäsion genug behalten, um der erforderlichen Spannung der Dämpfe hinlänglichen Widerstand zu leisten [3]. Die Dichtigkeit der Dämpfe aber würde bei dieser Temperatur = 0,43256 seyn, die des Wassers im Maximo = 1 gesetzt, also etwas weniger als die Hälfte, welche Gröſse gleichfalls keineswegs etwas Unmögliches fordert. Es ist indeſs bei den Untersuchungen über das Verhalten des Wasserdampfes [4] gezeigt, daſs aus entscheidenden Gründen über 640° oder 650° C. kein Wasserdampf als solcher existiren könne. Indeſs entscheidet dieses Argument nicht unbedingt gegen die angegebene Anwendung des Dampfes. Einestheils nämlich gehört zu dieser Temperatur von 650° C.

---

1 Vergl. Fresnel's Urtheil im Bulletin général des Sc. Math. Phys. et Chim. 1825. Jan. p. 59. Dupin Voyages dans la Grande Bretagne. 1re Part. Lib. III. Ch. 6. p. 148.

2 Vergl. *Ballistik*. Th. I. 712.

3 Diese älteren, mit Wedgwood's Pyrometer erhaltenen Bestimmungen sind wahrscheinlich viel zu hoch. Richtiger scheinen die mit Daniell's Pyrometer gefundenen Schmelzpuncte zu seyn, nämlich für Kupfer 1118° R. und für Eisen 1532° R. Beide gehen indeſs über die für die Wasserdämpfe erforderlichen Temperaturen noch weit hinaus. Vergl. *Schmelzen*.

4 S. *Dampf; latente Wärme desselben.*

oder 510° R. eine Elasticität von 871,17 Atmosphären, und es ist fraglich, ob PERKINS bei seinen Versuchen mit kleinem Caliber eine gröfsere Kraft angewandt hat; anderntheils aber gilt jene Bedingung nur für Dampf im Maximo seiner Dichtigkeit, und kann derselbe auch über jene Temperatur hinaus durch vermehrte Wärme eben wie alle expansibelen Flüssigkeiten eine höhere Elasticität erhalten, welche dann auf das vorhandene Wasser zurückwirkend dasselbe stets mehr zusammendrücken müfste.

PERKINS soll aufserdem seine Kanonen mit einem Mechanismus versehen haben, wonach die Kugeln schnell aus einer seitwärts befindlichen Röhre in den Lauf geschoben werden, so dafs die Ladung gegen dreifsigmal geschwinder, als bei gewöhnlichen Artillerie-Stücken geschehen kann, und aufserdem werden sie auf einer Scheibe um ein Centrum gedrehet, so dafs man ihre Richtung im Azimuth schnell und allmälig verändern kann. Die Versuche sind bis jetzt mit kleinem Caliber angestellt, und die weitere Erfahrung mufs erst lehren, ob sich bei gröfserem noch Schwierigkeiten einstellen, welche bisher nicht wahrgenommen wurden, überhaupt aber ist die ganze Sache noch keineswegs durch Versuche hinlänglich und im Einzelnen ausgemittelt, um ein entscheidendes Urtheil darüber zu fällen.

M.

Dampfkugel.

Windkugel, Aeolipile; *Aeolipila;* Éolipile; *Aeolipile*, *Eolipile;* heifst eine jede Kugel mit einem engen Rohre, welche zum Theil mit Wasser gefüllt und auf Kohlen erhitzt den gebildeten Wasserdampf als luftartige expansibele Flüssigkeit aus der engen Mündung der Röhre bläst. In dieser Form hat man sie lange gekannt, und weil das Blasen des Dampfes mit dem Winde verglichen, und zur Erklärung desselben benutzt wurde, so hat man sie hiernach *Windkugel*, oder nach AEOLUS, dem Gott der Winde, *Aeolipile* genannt; jedoch bleibt der Name *Dampfkugel* der eigentlich bezeichnende [1]. Die Alten wollten nämlich aus dem Verhalten

1 Wolf Nützliche Versuche u. s. w. Halle 1737. 3. Th. 8. I. 460.

der Dampfkugeln den Ursprung der Winde erklären, indem sie denselben ganz ernstlich für ein fließendes Wasser der Luft hielten [1], und zu dem nämlichen Zwecke benutzt sie auch noch CARTESIUS [2]. Diese Ansicht widerlegt WOLF [3], und beschreibt zugleich die Construction der Dampfkugel und die mit derselben anzustellenden Versuche.

Soll eine Dampfkugel für die damit anzustellenden Versuche zweckmäßiger als die einfache, durch WOLF angegebene, eingerichtet, und zugleich gegen die Gefahr des Zerspringens gesichert seyn, welche nur zu leicht daraus entstehen kann, wenn durch etwas Schmutz in dem gebrauchten Wasser das feine Dampfrohr verstopft wird, so muſs sie folgende Beschaffenheit haben. Die Kugel A, 2 bis 3 Z. im Durchmesser haltend, besteht aus geschlagenem, schlaghart gelöthetem Kupfer. Oben auf derselben ist ein mit dem Hahne a versehenes Verbindungsstück aufgelöthet, auf welches das krumme Röhrchen g, oder auch ein gerades aufgeschroben werden kann. Der Sicherheit wegen ist dieselbe mit dem Ventile α versehen, welches am besten aus einer flachen, vermittelst der in eine Spitze auslaufenden, und in eine Vertiefung herabgehenden, durch die Feder f niedergehaltenen Schraube k angedrückten Scheibe besteht. Zur bequemeren Manipulirung endlich erhält dieselbe den metallenen Stiel d und die hölzerne Handhabe e.

Fig. 121.

Mit diesem Apparate lassen sich unter andern folgende, zum Theil schon durch WOLF angegebene Versuche anstellen.

1. Man füllt die Kugel mit Wasser, Weingeist, oder einer sonstigen leicht verdampfbaren Flüssigkeit, indem man den Hahn öffnet, sie etwas über Kohlen hält, so daſs die in derselben befindliche Luft ausgedehnt wird, taucht dann die Spitze in die Flüssigkeit, bis nach Abkühlung der Luft im Innern der Kugel einige Tropfen in dieselbe eingedrungen sind, verwandelt diese durch abermaliges Erhitzen in Dampf, taucht die Spitze wiederum in die Flüssigkeit, und läſst von der alsdann mit Heftigkeit einströmenden so viel eindringen, als man ver-

---

1 Ventus est aëris fluens unda . . . . . . ex aeolipilis licet aspicere. Vitruvii de Archit. Lib. I. cap. VI. p. 21. ed. Rode. Berol. 1800. 4.

2 Meteor. Cap. IV. §. 3.

3 a. a. O.

langt. Soll hierbei gezeigt werden, daſs die siedend heiſsen Dämpfe alle Luft austreiben, so darf man nur zuerst einige Tropfen mehr eindringen lassen, diese so stark erhitzen, daſs der Dampf mit Geräusche einige Secunden aus der Oeffnung dringt, letztere dann schnell in die Flüssigkeit tauchen, und es wird sich zeigen, daſs die Kugel ganz damit angefüllt ist.

2. Legt man die mit Wasser oder einer andern leicht verdampfbaren Flüssigkeit etwa bis zur Hälfte angefüllte Aeolipile mit geöffnetem Hahne auf Kohlen, so läſst sich die wesentliche Beschaffenheit des alsdann gebildeten Dampfes leicht nachweisen. Zuerst zeigt nämlich das Ausströmen desselben mit lebhaftem Geräusche aus der Spitze seine groſse Elasticität, wobei man zugleich wahrnimmt, daſs dicht vor der Spitze durch Berührung mit der äuſseren kälteren Luft ein Theil des Dampfes als minder durchsichtiger Dunst niedergeschlagen, aber durch Aufnahme von Wärme sogleich wieder expandirt wird. In diesen Strom des Dampfes kann man zugleich ein mit geringer Reibung umlaufendes Rad bringen, damit dasselbe nach Art der durch Branca angegebenen Dampfmaschine umgetrieben werde. Hält man einen Körper, z. B. eine Thermometerkugel, einen Glasstab, eine metallene Stange u. dgl. in diesen Strom, so zeigt sich sogleich der Uebergang des Dampfes in seinen ursprünglichen, tropfbar flüssigen, Zustand, indem die wiederhergestellte Flüssigkeit von dem Körper in so viel gröſserer Menge herabtropft, je leichter derselbe die ihm mitgetheilte latente Wärme des Dampfes ableitet. Bringt man die Flamme einer Kerze oder eine glühende Kohle in diesen Strom, so wird der Dampf die erstere nur dann auslöschen, wenn er den Docht selbst trifft, sonst aber werden beide nicht ausgelöscht werden, indem der Dampf hier als expansibele Flüssigkeit wirkt, wobei jedoch das Nichtverlöschen als eine Folge des zugleich mechanisch mit fortgerissenen Luftstromes anzusehen ist, indem der Wasserdampf selbst das Brennen nur dann zu erhalten die Fähigkeit besitzt, wenn die Hitze des Körpers, auf welchen er strömt, stark genug ist, um ihn zu zersetzen und den Sauerstoff mit sich zu verbinden, worauf dann das entwickelte Wasserstoffgas vermittelst des Sauerstoffgases der atmosphärischen Luft mit Flamme verbrennen könnte. Ein diesem ähnlicher Proceſs zeigt sich, wenn fein vertheiltes

Wasser in ein heftig brennendes Feuer gespritzt wird. Dafs hiernach eine Aeolipile auch als blasende Vorrichtung zur Unterhaltung des Feuers bei Schmelzöfen angewandt werden könne, bestreitet HUTTON zwar [1], allein es ist dessen ungeachtet richtig, und auch in der Wirklichkeit ausgeführt, obgleich eine solche Vorrichtung aus anderweitigen Gründen im Grofsen nicht wohl mit Vortheil benützt werden kann.

3. Wird die Spitze der Aeolipile während des Ausströmens von siedendheifsem Dampfe in ein Gefäfs mit Wasser gehalten, so giebt der Dampf seinen latenten Wärmestoff an dieses ab, erhitzt dasselbe, und bringt es zum Sieden. Setzt man dieses einige Zeit fort, so läfst sich durch diesen einfachen Versuch anschaulich machen, auf welche Weise man den Dampf als Heizmittel zum Sieden benutzen könne [2].

4. Dieses Verfahren führt unmittelbar zu einer Reihe höchst wichtiger physikalischer Versuche, nämlich zur Bestimmung der latenten Wärme der Dämpfe von verschiedenen Flüssigkeiten. Die Methoden, wonach dieses geschehen könne, sind oben ausführlich beschrieben [3], und es genügt daher hier die Bemerkung, dafs es für diesen Zweck vortheilhaft ist, die Handhabe so einzurichten, dafs sie von der Aeolipile abgeschroben werden kann, damit das Gewicht der letzteren nicht zu grofs sey.

5. Minder unmittelbar ist die Aeolipile geeignet, die Quantität des Dampfes zu bestimmen, welche eine dem Feuer ausgesetzte Fläche von gegebener Gröfse in einer gewissen Zeit zu erzeugen vermag. In diesem Falle aber wird die mit Wasser zum Theil gefüllte Aeolipile zuerst gewogen, dann mit offenem Hahne so lange auf das Feuer gelegt, bis das Wasser die Siedehitze erreicht hat, und der Dampf ausströmt, dann der Hahn verschlossen, die Aeolipile abermals gewogen, wieder auf das Feuer bis zur Siedehitze des Wassers gebracht, der Hahn geöffnet, und nachdem der Dampf die gemessene Zeit frei ausgeströmt und der Hahn wieder verschlossen ist, die Aeolipile abermals gewogen, worauf der Unterschied beider Gewichte die

---

1 Dictionary. Art. Aeolipile.

2 Vergl. *Dampf. Anwendung desselben.*

3 S. *Dampf; latente Wärme desselben.*

Menge des verdampften Wassers giebt. Auch zum Messen der Quantität des Dampfes von gegebener Dichtigkeit, welcher aus einer Oeffnung von bestimmter Gröfse in einer gegebenen Zeit ausströmt, kann die Aeolipile angewandt werden, zu welchem Ende aber in derselben ein Thermometer befindlich seyn muſs, um die jedesmalige Temperatur, und die dieser zugehörige Dichtigkeit und Elasticität des Dampfes zu kennen.

6. Wolf [1] schlägt ganz sinnreich vor, man solle die Aeolipile mit wohlrichendem Wasser füllen, und auf Kohlen legen, so würden die Zimmer, worin dieses geschieht, mit Wohlgerüchen erfüllt werden. Es läſst sich nicht verkennen, daſs dieses ein sehr brauchbares Mittel ist, den Geruch wohlriechender tropfbarer Flüssigkeiten schnell zu verbreiten, indeſs dürfte es doch zu weitläuftig seyn, die Aeolipile hierzu zu gebrauchen.

7. Eben derselbe giebt an, man könne vermittelst einer Aeolipile einen Springbrunnen erhalten, wenn man dieselbe so liegend erhitze, daſs die Flüssigkeit die Mündung des feinen Rohres bedecke, und auf diese Weise durch den Druck des Dampfes aus demselben in die Höhe getrieben würde. Selten dürfte es der Fall seyn, daſs man auf diese Weise eine Fontaine zu bilden beabsichtigen könnte. Indeſs kann man leicht die Flüssigkeiten aus einer Aeolipile bringen, welche sonst durch den Gegendruck der Luft darin zurückgehalten wird, wenn man dieselbe über Kohlen in eine solche Lage bringt, daſs die gebildeten Dämpfe die Flüssigkeit aus der engen Röhre pressen, wodurch leicht ein fontainenartiger Strahl gebildet wird. Wollte man sonst ernstlich die Aeolipile als Springbrunnen gebrauchen, so würde es viel besser seyn, derselben die Gestalt und Einrichtung zu geben, wie de Caus seiner sogenannten Dampfmaschine [2]. Wolf erwähnt zugleich, daſs er den aus der Aeolipile strömenden Dampf von Weingeist entzündet habe, indem er ihn durch eine Lichtflamme trieb, wobei derselbe jedoch bloſs so lange brennt, als er die Lichtflamme durchströmt, bei der Entfernung derselben aber verlöscht. Dieses allerdings in-

---

1 a. a. O.

2 S. *Dampfmaschine*, *Savery's*.

teressante Schauspiel hat einige Aehnlichkeit mit der sogenannten Feuerfontaine [1].

8. Endlich benutzt man den Dampfstrom aus einer Aeolipile statt eines Luftstromes zur Erhaltung eines Lampengebläses, wobei man sich indeſs wohl ausschlieſslich bloſs der Weingeistdämpfe bedient [2]. *M.*

Dampfmaschine.

Feuermaschine; ***Machina ope vaporum mota;*** **Machine à feu, machine à vapeur;** ***Steam engine;*** nennt man diejenigen Maschinen, welche durch Dampf in Bewegung gesetzt werden. Bei der auſserordentlichen Menge und Verschiedenheit derselben [3] den verschiedenen Principen, worauf sie beruhen und dem oft sehr künstlichen Baue des Ganzen und der zahlreichen einzelnen Theile ist est nicht füglich erreichbar, diesen Gegenstand hier vollständig abzuhandeln; allein wegen der Wichtigkeit derselben für Physik, Technologie und Fabrikenwesen und bei dem allgemeinen Interesse, welches sie wegen ihrer vielfachen Anwendung, insbesondere in den neuesten Zeiten, erregt haben, werde ich suchen die vorzüglichsten Erfindungen nebst späteren Verbesserungen namhaft zu machen, zugleich aber nur diejenigen näher zu erläutern, welche wegen ihrer praktischen Anwendbarkeit eine genauere Beschreibung verdienen [4]. In sofern aber auch das Geschichtli-

---

1 S. *Springbrunnen.*

2 Vergl. *Lampengebläse.*

3 Nach C. F. Partington Historical and descriptive Account of the Steam Engine cet. Lond. 1822. 8. p. XIV. befanden sich damals wenigstens 10000 Dampfmaschinen in Groſsbrittannien, welche die Arbeit von mehr als 200000 Pferden verrichten, zu deren Unterhalt über eine Million Acker Land, also so viel erforderlich seyn würde, als wovon 1500000 Menschen leben können.

4 Robert Stuart in A descriptive History of the Steam Engine. Lond. 1824. 8. p. 192. sagt über den Nutzen derselben für England: It would be difficult to estimate the value of the benefits which these inventions have conferred upon the country. There is no branch of industry that has not been indebted to them, and in all the most material, they have not only widened most magnificently the field of its exertions; but multiplied a thousond fold the amount of its produc-

der Erfindung und allmäligen Verbesserungen dieser merk-
rdigen Maschinen an sich interessant ist und der Zukunft
bewahrt zu werden verdient, scheint es mir am zweckmä-
ıten, die verschiedenen Arten derselben, wie sie ursprüng-
ı angegeben und allmälig vervollkommt sind, bis auf die
igen Zeiten herab zusammenzustellen [1].

1. Maschinen, bei denen der Dampf durch Blasen und Reaction wirkt.

Diese Art, die Kraft der Dämpfe zu benutzen, die älteste,
l schon durch HERON von ALEXANDRIEN in Vorschlag ge-
cht, hat ohne Zweifel die Erfindung der Dampfmaschinen
anlafst. HERON [2] schlägt nämlich vor, auf dem Altare der
:henen Kapsel a b Feuer anzuzünden, damit die aus dem-
ıen durch die lothrechte Röhre c d und die hiermit verbun-
en horizontalen Röhren α, α, α, α ausströmende Luft (oder
npf) die auf der Spitze β bewegliche Scheibe umtreiben möge,
lafs die auf derselben befindlichen Thiere im Chore zu tanzen

---

s. It is our improved Steam Engine that has fought the battles of
ɔpe, and exalted and sustained through the late tremendous con-
, the political greatness of our land. It is the same great power
:h now enables us to pay the interest of our debt, and to maintain
arduous struggle in which we are still engaged, against the skill
capital of all other countries. But these are poor and narrow
's of its importance. It has increased indefinitely the mass of human
forts and enjoyments, and rendered cheap and accessible, all over
world, the materials of wealth and prosperty.

1 Es giebt eine grofse Menge einzelne Aufsätze, die Geschichte
Dampfmaschinen betreffend. Fast alle beschreibende Werke der-
en enthalten als Einleitung auch das Geschichtliche, aufserdem aber
et man dasselbe unter andern in Gren N. J. I. 62 u. 114. Nicholson
419. daraus bei G. XVI. 129. u. a. a. O. Eine sehr vollständige
:hreibung der verschiedenen Maschinen aber und ihrer einzelnen
ile, durch vortreffliche Zeichnungen erläutert, giebt Borgnis Traité
Mécanique appliquée aux Arts. Par. 1818. Composit. des Machines.
3. Minder vollständig, aber dennoch sehr umfassend ist Christian
anique industrielle. III vol. 4. Par. 1822. bis 1825. vol. II. Praktisch
brauchbar ist C. Bernoulli Anfangsgründe der Dampfmaschinen-
:. Basel 1824. I vol. 8. mit 9 Tafeln in Steindruck.

2 Heronis Alex. Spiritualium liber. Amst. 1680. 4. p. 88.

schienen. Noch eigentlicher gehört hierher ein anderer Vorschlag von eben demselben [1]. In dem Gefäſse A befindet sich Wasser, welches durch untergelegtes Feuer in Dampf verwandelt wird, in dieser Gestalt dann durch die Röhre a b in die Kugel C gelangt, und aus den Spitzen α, α ausströmend diese in eine rotirende Bewegung versetzt. Fig. 123.

Obgleich der ausströmende Wasserdampf eine nur unbedeutende Gewalt hat, und daher ohne unverhältniſsmäſsigen Aufwand von Brennmaterial keine Maschine in Bewegung setzen, mithin auch auf die angegebene Weise durchaus nicht mit Vortheil benutzt werden kann, so ist dennoch dieser Mechanismus sehr häufig wieder aufs Neue in Vorschlag gebracht. Es wird indeſs aus diesem Grunde genügen, alle diese Vorschläge nur mit wenigen Worten anzuzeigen. Von ähnlicher Art war ohne Zweifel die Maschine, welche Matthesius in seiner bekannten dunkeln Stelle über eine Feuermaschine andeutet [2], denn um die nämliche Zeit wird von dem Italiäner Scappi in einem seltenen Buche [3] eben diese Vorrichtung zum Drehen der Bratspieſse mit dem Zusatze empfohlen, daſs dann die Küchenjungen nicht mit ihren unreinen Fingern die Brühe lecken könnten. Watt versuchte diese Art von Dampfmaschinen gleichfalls zu benutzen, allein die Wirkung war bei der groſsen Menge des erforderlichen Brennmaterials so geringe, daſs er die Idee bald wieder ganz aufgab [4]. Ganz dem Segnerschen Wasserrade oder der Barkerschen Mühle ähnlich ist der Cylinder mit zwei auf demselben normalen Armen, aus deren Oeffnungen der Dampf ausströmen soll, während das Wasser im Cylinder siedet, nach Musschenbroek's Vorschlage [5]. Etwas zusammengesetzter, im Ganzen aber auf den nämlichen Grundsätzen beruhend ist die Maschine, worauf Sadler 1791 sich

---

1 Heronis Alex. Spiritualium liber. p. 66.

2 Bergpostille oder Sarepta. Nürnb. 1562.

3 Opera di Bartolomeo Scappi cet. In Venetia 1570. Dieselbe Maschine ist beschrieben in einem 1597 zu Leipzig gedruckten Buche nach Stuart a. a. O. p. 4.

4 Rees Cyclop. Art. Steam Engine.

5 Introd. §. 1469.

ein Patent geben liefs [1]. Am bekanntesten, vielleicht wegen der Celebrität ihres Erfinders, ist die von v. KEMPELEN angegebene Maschine geworden. Sie besteht bloſs aus einem Dampfkessel mit einem, durch einen Hahn verschlieſsbaren Halse, auf dessen Mündung ein Rohr mit zwei nach entgegengesetzten Seiten ausgehenden Spitzen horizontal aufliegt, und durch die Reaction des aus den Spitzen strömenden Dampfes umgedrehet wird [2]. Von allen auf diese Weise construirten Maschinen läſst sich indeſs kein praktischer Nutzen erwarten, und sie können daher nur ein geringes geschichtliches Interesse haben.

Der zweckmäſsigste Apparat, vermittelst dessen man diese Art der Dampfmaschinen und die Wirksamkeit des Dampfes bei denselben auf eine leichte und interessante Weise anschaulich machen kann, ist eine Art *Dampfkugel*, welche PRIESTLEY [3] zur Erklärung der elektrischen Spindel beschrieben hat. Seiner Vorschrift nach bedient man sich hierzu einer kupfernen Kugel mit zwei kleinen, im Aequator derselben diametral einander gegenüber angebrachten, nach einer Seite umgebogenen feinen Röhrchen. Wird diese Kugel zur Hälfte mit Wasser gefüllt, in einem ihrer Pole an einem nicht gezwirnten Seidenfaden von einigen Fuſsen Länge aufgehangen und über Kohlen erhitzt, so geräth sie nach der Theorie des Segnerschen Wasserrades in stark rotirende Bewegung. PRIESTLEY behauptet, sie drehe sich hierbei stets nach der nämlichen Richtung herum, sowohl während das eingeschlossene Wasser siedet und der Dampf aus den Spitzen bläst, als auch wenn nachher die Luft wieder in den leeren Raum dringt. Allein diese Behauptung ist der Theorie und der Erfahrung zuwider, und wo es der Fall zu seyn scheint, eine Folge des Beharrens der Kugel bei der einmal erhaltenen Rotation. Hiervon kann man sich überzeugen, wenn man eine kleine, höchstens 1,5 Z. im Durchmesser haltende Kugel wählt, etwas Alkohol hineinbringt, die Kugel an dem genannten Seidenfaden über eine Weingeistlampe hält, und nachdem der Alkohol fast vollständig verdampft, und

---

1 Repertory of Arts. III. Stuart 152.

2 Mém. de l'Ac. de Prusse. 1750 u. 51. Vergl. Langsdorf Handbuch d. Maschinenlehre. I. 174.

3 Geschichte d. Elektr. übers. durch Krünitz. p. 279.

hierdurch die Kugel in eine sehr starke Rotation anhaltend versetzt ist, sie schnell in ein Glas mit kaltem Wasser taucht, jedoch so, daſs sie auch hierin am Faden schwebend getragen wird, worauf sie dann bald stillstehen, und noch im Wasser oder auch, wenn man sie schnell wieder herauszieht, in der Luft eine Drehung nach entgegengesetzter Richtung erhalten wird.

Weil es etwas unbequem ist, die Kugel eine längere Zeit über einer Weingeistlampe schwebend zu erhalten, so habe ich diesen Apparat auf eine Weise eingerichtet, daſs dieses letztere vermieden wird, der zuletzt beschriebene Versuch aber dennoch angestellt werden kann. Eine Kugel Q von dünnem Messing hart gelöthet, trägt oben das flache, an den Enden in feine, rechtwinklich nach entgegengesetzten Seiten umgebogene Spitzen α, β auslaufende Rohr b b, welches deswegen statt der im Aequator der Kugel befindlichen Röhrchen vielmehr in ihrem oberen Pole angebracht ist, weil sonst der durch die Rotationsbewegung seitwärts getriebene Weingeist aus denselben geschleudert wird. In der Mitte ist dieses flache Rohr durchbohrt, mit einem etwas dickeren Stückchen Messing versehen, in welches, nach der Einfüllung von etwas Weingeist in die Kugel, das Stück d d vermittelst eines umgewundenen Hanffädchens geschroben, und somit die Kugel dampfdicht verschlossen wird. Dann wird die Kugel auf der Spitze e über der Weingeistlampe c c balancirt, oben vermittelst der herabgehenden, am horizontalen Drahte g g befindlichen Spitze k festgehalten, der Draht selbst aber mit seinen Röhrchen h h auf den an die cylinderische Weingeistlampe gelötheten Stangen f f herabgeschoben. Zündet man demnächst die beiden kleinen Dochte der Weingeistlampe an, so wird die Kugel in eine schnelle drehende Bewegung versetzt werden; will man aber die nachher erfolgende, rückwärts gehende, Drehung gleichfalls zeigen, so darf man die Kugel nur durch Festhalten zum Stillstehen bringen, die Lämpchen ausblasen, und es wird die entgegengesetzte Drehung sogleich erfolgen, wenn die Kugel, anstatt Dampf auszustoſsen, die Luft einzieht. Sonst kann man auch die Kugel an einem Faden aufhängen, welcher durch das Löchelchen im Stücke d d gebunden wird, und den Versuch auf die oben beschriebene Weise anstellen.

Fig. 124.

Unter diese Classe von Maschinen kann man übrigens auch diejenige rechnen, welche G. Branca in Vorschlag bringt, obgleich bei derselben der blasende elastische Dampf directe das Umlaufen eines Rades bewirken soll [1]. Sie besteht in einfachster Gestalt aus einer Aeolipile A, welche auf Kohlen liegend den Wasserdampf gegen das Rad B bläst, und dieses hierdurch umtreibt. Auch hierbei ist der Nutzeffect für die praktische Anwendung viel zu geringe.

Fig. 125.

2. Savery's Dampfmaschinen.

Man hat diesen Namen denjenigen Maschinen gegeben, bei welchen vermittelst des niedergeschlagenen Wasserdampfes ein leerer Raum entsteht, in welchem die atmosphärische Luft durch ihren Druck das Wasser emporhebt. Insofern indeſs bei diesen Maschinen das Wasser nach dem Anheben durch den atmosphärischen Luftdruck auch durch den wieder hinzutretenden Dampf in die Höhe gedrückt wird, so verdient die von de Caus [2] angegebene um so mehr hierzu gezählt zu werden, als sie wahrscheinlich die nächste Veranlassung zu den späteren Erfindungen gab. Sie besteht aus der metallenen Kugel C, welche durch den Trichter a mit Wasser gefüllt, dann erhitzt wird, so daſs der entstehende Dampf das Wasser aus der Röhre c d in die Höhe treibt. Hierher gehören gleichfalls die etwas später empfohlenen Maschinen, aus metallenen Kasten bestehend, worin durch die Sonnenwärme die Luft ausgedehnt, hierdurch das Wasser angehoben, nach dem Erkalten aber vermittelst wechselnd schlieſsender und sich öffnender Ventile wieder eingesogen werden soll [3]. Von dem gröſsten Theile, oder mindestens einigen dieser Erfindungen muſste der Marquis von Worchester Kenntniſs haben, als er in seiner *Century of Inventions* viel über die wunderbaren Wirkungen der von ihm erfundenen

Fig. 126.

---

1 Le Machine diverse del Signor Giovanni Branca. Rom. 1629. fol. pl. XXV.

2 Les Raisons des Forces mouvantes avec divers desseins de Fontaines. Par. 1624. fol. Isaac de Caus New Invention of Water Works Lond. 1704.

3 Stuart a. a. O. p. 6.

Dampfmaschinen redete [1]. Dieser Marquis, welcher fast allgemein für den ersten Erfinder der Dampfmaschinen gilt, und von einigen, namentlich Desaguliers weit über Savery gestellt wird, indem letzterer aus Eifersucht die Exemplare jener Schrift aufgekauft und vernichtet haben soll, um selbst als Erfinder zu gelten [2], welchen noch Partington [3] Millington [4] u. a. für ein grofses Genie halten, dessen Erfindungen man mit Unrecht vernachlässigt habe, wird von Robison [5], vorzüglich aber von Stuart [6] vielmehr für einen prahlerischen Schwärmer ausgegeben, von welchem es noch zweifelhaft sey, ob er den bekannten Vorschlägen zu solchen Maschinen überhaupt etwas Eigenes hinzugefügt habe. So viel ist gewifs, dafs weder in der angegebenen Schrift, noch auch in einer andern ungedruckten [7] irgend eine verständliche Angabe solcher Vorrichtungen enthalten ist. Die Kraft der Dämpfe im Allgemeinen konnte ihm nicht unbekannt seyn, und es ist daher eine leere Erzählung, wenn es heifst, der Marquis habe in der Gefangenschaft sein Essen in einem eng verschlossenen Gefäfse bereitet, dessen Deckel plötzlich im Camine empor geschleudert sey, und ihn auf diese Gewalt aufmerksam gemacht habe [8]. Was man später aus Worchesters Angaben herauszubringen suchte, kommt im Wesent-

---

1 Marquis of Worchester's A Century of the names and scantlings of such inventions as at present I can call to mind to have tried and perfected. Lond. 1663.; zuerst gedruckt 1683.; (wahrscheinlich von Desaguliers) 1746; 1786; Glasgow 1767; von J. Buddle 1813. in 12. abgedruckt in Gregory's Mechanik Th. 2.

2 Experim. Phil. II. 466.

3 a. a. O. p. 5.

4 Epitome of Nat. Phil. 1823. Vol. I.

5 Encycl. Brit. art. Steam Engine.

6 a. a. O. p. 10.

7 An exact and true Definition of the most stupendous Water-commanding Engine, invented by the Right Honorable Edwart Sommerset, Lord Marquis of Worchester, and by his Lordship himself presented to his most excellent Majesty Charles the second, our most gracious Sovereign. 20 pag. 4. in den Mspt. des Brittischen Museums N. 2428. Ebendaselbst befindet sich das Mspt. der Century of Inventions.

8 Buchanan Treatise on Propelling Vessels by steam. Glasgow 1816. p. 16.

lichen auf DE CAUS's Erfindungen zurück [1]. Weit wichtiger sind dagegen die Vorschläge von SAMUEL MORELAND, welcher um 1682 am Hofe Ludwigs XIV. Unterstützung für den Bau von Maschinen suchte, welche das Wasser vermittelst der Dämpfe heben sollten. So unvollkommen auch seine Angaben hierüber sind [2], so geht doch soviel deutlich hervor, das MORELAND die ersten sehr wichtigen Versuche über die Expansion und Kraft der Wasserdämpfe angestellt habe. Nach seiner Angabe nehmen sie einen 2000mal gröſseren Raum als das Wasser ein, und ihre Elasticität steigt mit zunehmender Wärme, bis sie alle Bande der Cohäsion überwindet. Indem hierbei die Art der Benutzung des Dampfes nicht näher bestimmt, sondern bloſs die Stärke seines Druckes gegen eine gegebene Fläche angegeben ist, so konnte in MORELAND's Vorschlage auch die spätere Newcomensche Idee enthalten seyn [3].

Will man die Sache unpartheiisch würdigen, so theilen zwei Männer die Ehre der Erfindung der Dampfmaschinen, nämlich DIONYSIUS PAPINUS und SAVERY, wovon der erstere den Gegenstand zwar in gröſserer Allgemeinheit auffaſste, aber nicht praktisch ausführte, der leztere dagegen durch sofortige praktische Ausführung den künftigen Generationen einen nicht zu berechnenden Vortheil verschaffte. PAPINUS kannte bei weitem zuerst die Kraft der Wasserdämpfe, wandte dieselben aber zunächst nur als Auflösungsmittel der Knochen seit 1681 an [4]. Indeſs kam er bald nachher auf eine andere Idee, nämlich vermittelst der Luftpumpe ein Vacuum zu bilden, dieses auf weite Strecken fortzupflanzen, und dann den Luftdruck als bewegen-

---

1 Man hat mehrere Constructionen solcher Maschinen nach der undeutlichen Beschreibung entworfen, z. B. DESAGULIERS's, und noch kürzlich ist dieses geschehen in Brewster's Edinb. Journ. of Sc. III. 38. Allein hierbei hat man in der unverständlichen Angabe stets mehr gefunden als darin liegt. Vergl. G. XVI. 129.

2 Das Mspt. seines Memoirs befindet sich im Brittischen Museum Nro. 5771, enthält 22 S. 4, worin nur 4 Seiten von den Dampfmaschinen handeln. S. Stuart p. 22. Partington a. a. O. p. 8.

3 Vergl. J. d. P. XCIII. 399.

4 S. *Digestor*.

des Mittel zu benutzen [1]. Weil aber zum Bewegen der Luftpumpe nicht allezeit eine bewegende Kraft, z. B. ein Fluſs in der Nähe ist, so schlug er später vor [2], das Vacuum durch entzündetes Schieſspulver zu erzeugen, oder hierdurch den Embolus zu heben; und als er die Schwierigkeiten eines solchen Verfahrens einsah, gab er 1690 die Idee an, den leeren Raum durch etwas verdampftes und nachher wieder niedergeschlagenes Wasser hervorzubringen, welchen Vorschlag er später weiter erläuterte [3], aber, so weit bekannt ist, nie praktisch im Groſsen ausführte. Man darf also die erste Idee sowohl der atmosphärischen Dampfmaschinen, als auch der mit einem Balancier allerdings dem Papinus zuschreiben, wenn sich auch nicht mit Gewiſsheit erweisen läſst, daſs er von Savery's Erfindung gar keine Kenntniſs gehabt habe; und auf allen Fall verdankt man ihm das Sicherheitsventil [4].

Savery's Maschine ist erweislich eine ihm eigenthümlich zugehörige Erfindung, worauf ihn bei leidenschaftlicher Vorliebe für alle, hauptsächlich aber für hydrostatische und hydraulische Maschinen eine zufällige Beobachtung führte. Er hatte nämlich eine Weinflasche, worin sich noch eine geringe Menge Wein befand, erhitzt, und dann die Oeffnung ins Wasser getaucht, welches mit groſser Gewalt in dieselbe drang [5]. Dieses Phänomen ist eigentlich die Grundlage seiner Maschine, und wenn Desaguliers dasselbe als unzulässig bestreitet, so zeigt Robison [6] sehr richtig, daſs es nothwendig erfolgen muſste, Desaguliers aber falsch experimentirt haben müsse, als er dieses nicht fand. Zu welcher Zeit Savery seine ersten Maschinen nach dieser Einrichtung unter groſsen Schwierigkeiten,

1 Acta Erud. Lips. 1685. p. 410. Vergl. Nouvelles de la République des Lettres. 1687. Juni. Jahrb. d. Polyt. Inst. I. 160.

2 Acta Erud. 1688. p. 644.

3 Recueil des diverses Pièces touchant quelques nouvelles Machines. à Cassell 1695. Phil. Trans. 1697. p. 483. Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam. Cassellis 1707. 4.

4 Millington Epit. p. 255. d. Uebers. I. p. 300.

5 Desaguliers. Exper. Phil. II. 466. Nach Switzer Introduction to a general System of Hydrostatics cet. 1729. II Vol. I. 324. machte er diesen Versuch mit einer Tabakspfeife.

6 Mech. Phil. II. 48.

welche die Ungeschicklichkeit der Arbeiter erzeugte, ausführte, ist nicht genau bekannt, indeſs hatte er schon einige verfertigen lassen, als er 1696 eine Beschreibung derselben herausgab, zwei Jahre darauf ein Patent erhielt und 1699 sich gegen verschiedene Einwürfe zu vertheidigen suchte, worunter sich aber dieser, daſs er seine Erfindung vom MARQUIS VON WORCHESTER entlehnt habe, nicht mit befand [1]. Versuche mit einem Modelle seiner Maschine machte er in Gegenwart des Königs WILLIAM zu HAMPTON-COURT und vor der Kön. Societät im Jahre 1699, welche beifällig aufgenommen wurden [2]. SAVERY änderte seine Maschinen nach Erforderniſs in auſserwesentlichen Stücken ab, und es wurden verschiedene im In- und Auslande nach seinem Plane ausgeführt. Eine Unbequemlichkeit derselben besteht darin, daſs die Hähne mit der Hand gedrehet werden müssen, welches aber durch einen, die Heizung, zugleich besorgenden Knaben leicht geschehen kann. Eine der besten Einrichtungen der SAVERY'schen Maschine aber ist diejenige, welche PONTIFEX ihr neuerdings gegeben hat [3]. In der Figur, welche einen lothrechten Durchschnitt der Maschine darstellt, sind b, b zwei metallene Gefäſse, von deren Inhalte die Menge des geförderten Wassers abhängt. Einer derselben zeigt sich in der Seitenansicht, in beiden Figuren aber sind die gleichen Theile mit gleichen Buchstaben bezeichnet. Der Dampf dringt in diese Behälter durch die Röhre d, je nachdem das Schiebventil (*Sliding valve*) *a* nach der einen Seite oder nach der andern gewandt ist, in den Behälter rechts oder links. Beide stehen durch die Ventile i, i, mit der in das Wasser herabgehenden Röhre h, und durch die beiden andern I, I mit der aufwärts gehenden l in Verbindung; f, f mit den Steigbügeln g, g sind herabgehende Röhren, durch deren feine Löcher der Dampf, und auch das zur Abkühlung bestimmte Wasser in die Behälter gelangt. Soll die Maschine in Gang kommen, so wird das Rad 2 gedrehet, und vermittelst des leicht erklärlichen Mechanismus

Fig. 127.

Fig. 128.

1 Beide Schriften sind vereinigt in The Miner's Friend. 1702.

2 Phil. Trans. 1699. XXI. 228. Vergl. Act. Erud. 1700. p. 29. Leupold Theat. Mach. gen. Tab. LII. Weidler Tract. de Mach. hydr. p. 84.

3 Partington. p. 12.

das Ventil so geschoben, daſs der Dampf in den einen Behälter dringt, während der Zugang zum andern verschlossen ist. Die im Behälter befindliche Luft entweicht durch das Ventil I aus der Röhre l, und wenn man den ganzen Behälter mit Dampf angefüllt glaubt, wird das Rad 2 nach der andern Seite gedrehet, worauf der Dampf in den andern Behälter gelangt, während nach Oeffnung des Hahns s aus einer Cisterne mit Wasser, worin die Maschine steht, das Kühlwasser durch das enge Rohr q q m m in den ersten Behälter dringt, den Dampf in demselben niederschlägt und hierdurch einen leeren Raum erzeugt, so daſs das Wasser aus der Röhre h durch das Ventil i und die Röhre n denselben füllt. Während dieser Zeit ist der zweite Behälter mit Dampf gefüllt, und indem man das Ventil wieder auf seinen ersten Stand drehet, tritt bei diesem der nämliche Erfolg ein. Der nunmehro in das erste Gefäſs wieder eindringende Dampf drückt auf das in demselben befindliche Wasser, und preſst dasselbe durch das Ventil I und die Röhre l zu der verlangten Höhe. Sind hiernach die Kammern n n mit Wasser gefüllt, so öffnet man den Hahn y, worauf Wasser durch die Röhre u u in das Gefäſs v läuft, dieses füllt, und herabsinken macht, wodurch dann das Rad 2 umgedrehet, und das Ventil auf die andere Seite geschoben wird. Das herabsinkende Gefäſs drückt auf einen Stift, welcher eine Klappe im Boden desselben öffnet, und das Gefäſs entleert sich von selbst, indem nach Ausleerung der Kammer n und wieder anfangender Condensirung des Dampfes das Ventil w sich schlieſst. Durch eine gleiche Vorrichtung wird das zweite Gefäſs x gefüllt und geleert, und die Maschine ist also mit einer Selbststeuerung versehen. Ist endlich in der Cisterne nicht hinlängliches Wasser vorhanden, so wird der Hahn p geöffnet, und es füllt sich dasselbe wieder aus einer der Kammern n durch die Röhre o m′, ist sie aber überfüllt, so hebt ein darin befindlicher Schwimmer ein Ventil, und sie entleert sich bis zur erforderlichen Höhe.

Der mehrerwähnte Papinus kannte Savery's Erfindung, und gab eine eigene Construction derselben an, bei welcher ein im Dampfbehälter angebrachter hölzerner Schwimmer, auf welchen der Dampf drückt und das Wasser herauspreſst, deswegen als eine vortheilhafte Zugabe angesehen werden darf, weil dann der Dampf weniger vom Wasser absorbirt wird, und seine Ela-

sticität wegen schlechter Wärmeleitung des Holzes sich wirksamer zeigen kann. Aufserdem aber brachte er bei dieser Maschine zuerst das Sicherheitsventil an [1].

Desaguliers [2] veränderte die Savery'sche Maschine nur wenig, indem er statt zweier Behälter nur einen nahm, damit der Dampf während des Aufsteigens des Wassers in denselben eine höhere Elasticität erhalten und das Wasser, ohne abgekühlt zu werden, schneller vor sich hertreiben sollte. Das zum Verdichten des Dampfes bestimmte Wasser leitete er aus der zum Hinauftreiben desselben bestimmten Röhre durch ein Rohr nach Eröffnung eines Hahns in den Behälter, wobei es zugleich durch ein Sieb fiel, um sich besser auszubreiten. Eine solche Maschine unter andern liefs er für Peter den Grossen in seinem Garten in Petersburg 1718 verfertigen, welche das Wasser 29 engl. F. aufsog und dann noch 11 F. in die Höhe trieb. Bei einer andern Maschine hing ein unwissender Arbeiter aufser dem gehörigen Gewichte noch ein dickes Stück Eisen an das Hebelventil, der Kessel zersprang und tödtete den Arbeiter. Zu dieser Classe von Maschinen gehört auch die von Bosfrand, welche Weidler [3] beschreibt. Leupold [4] schlägt vor, den Dampf nicht abzukühlen, und dadurch ein Saugen zu bewirken, sondern die Maschine so anzubringen, dafs das Wasser durch seinen statischen Druck die Stiefel füllt, und durch die Elasticität des Dampfes in die Höhe getrieben wird. Dafs dieses indefs nur da angeht, wo Wasser aus einem Flusse oder Teiche gefördert werden soll, versteht sich von selbst. Gensenne [5] erfand einen sinnreichen Mechanismus, sowohl das Ventil des Dampfrohrs als auch den Hahn des Injectionsrohrs bei Desaguliers's Maschine durch eine Selbststeuerung zu bewegen, welches er durch zwei aus der Steigröhre des Wassers abwechselnd gefüllte und dadurch niedersinkende, an einem Hebel befestigte und nach dem Niedersinken sich selbst entleerende Kasten bewirkte.

---

1 D. Papini Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam. Cass. 1707. 4.

2 Cours de Phys. II. 568.

3 Tract. de Machin. hydr. p. 84.

4 Theatr. Mach. II. Tab. 30.

5 Machines Approuvés. VII. 300. Mém. de l'Ac. 1744.

Der Portugiese DE MOURA legte um die nämliche Zeit der Kön. Societät in London ein Modell einer andern Steuerung vor, welche in einem hohlen kupfernen Schwimmer im Behälter selbst bestand, an welchem eine Stange befestigt war, um beim Steigen und Sinken desselben einen Hebelarm zu heben, und durch diesen die Hähne zu öffnen und zu schliefsen [1]. Allein die atmosphärischen Dampfmaschinen wurden für so viel wirksamer gehalten, dafs man die Erfindung nicht sehr beachtete. Eben dieses Schicksal hatte BLAKEY's Maschine, welche sich dadurch unterscheidet, dafs zwei Behälter über einander angebracht sind, um das einmal erwärmte Wasser mit einer darauf schwimmenden Lage von Oel als schlechten Wärmeleiter stets zu erhalten, indem dieses aus dem unteren Behälter in den oberen steigt, der untere sich aber mit frischem aus der Zuleitungsröhre füllt, wenn der Dampf condensirt wird, dann aber durch zugelassenen Dampf in den unteren, und das hierin befindliche Wasser in der Steigröhre hinaufgedrückt wird, eine im Ganzen nicht zweckmäfsige Einrichtung. Statt des Kessels gebrauchte er mehrere, schräg in einem Ofen liegende Röhren [2]. Mit einer sinnreichen, aber nur eine eingeschränkte Anwendung zulassenden Steuerung versah FRANÇOIS in Lausanne diejenige Maschine, welche er zur Austrocknung der Sümpfe bei Lausanne vorschlug [3]. Das ausgeleerte Wasser flofs nämlich in einen in der Mitte balançirten Trog, welcher dadurch an einer Seite das Uebergewicht erhielt, umschlug, sich dadurch von selbst entleerte, zugleich aber vermittelst zweier an seinen beiden Enden angebrachter Stangen die beiden Ventile des Dampfkessels und der Förderungsröhre öffnete und schlofs. NANCARROW änderte 1799 die Saverysche Maschine dahin ab, dafs er mit dem Dampfraume einen abgesonderten Condensator verband, aufserdem nach einem von SAVERY schon geäufserten Vorschlage das geförderte Wasser auf ein oberschlächtiges Wasserrad fallen lassen wollte, um dieses umzutreiben [4]. Indefs

---

1 Smeaton in Phil. Trans. 1752. XLVII. 437.

2 Blakey sur les Pompes à feu. Amst. 1774. 4.

3 Mémoires de la Soc. des Sciences phys. de Lausanne. IV Vol. 4. I. 51.

4 Transact. of the American Phil. Soc. IV. 348. Repert. of Arts XIV. 329. Phil. Mag. IX. 300.

ist dabei keine Selbststeuerung angegeben, und so ist die sonst sinnreich ausgedachte Maschine dem jetzigen Standpuncte der Mechanik nicht angemessen. Diese Selbststeuerung fehlt dagegen nicht bei der durch JAMES BOAZ angegebenen Maschine ohne Condensation [1], bei welcher der Dampf auf einen Embolus, dieser aber auf Quecksilber prefst, und letzteres in die Höhe treibt, so dafs das über demselben stehende Wasser in eine Cisterne gedrückt wird. Ist die am Embolus befindliche, nach Aufsen durch eine Lederbüchse dampfdicht gehende, Stange tief genug herabgedrückt, so verschliefst ein an ihr befindlicher Mechanismus den Dampfhahn, und öffnet einen andern Hahn, welcher dem Dampfe einen Ausweg in die freie Luft ohne Condensation gestattet, worauf das Quecksilber durch sein Gewicht niedersinkt, den Embolus hebt, und das Wasser aus dem unteren Behälter in die Höhe saugt, bis die Stange des Embolus eine entgegengesetzte Stellung der Hähne bewirkt, und die Wirkung des Dampfes aufs Neue beginnt [2]. Indefs steht schon die grofse Menge des erforderlichen Quecksilbers und das grofse Gewicht desselben einer praktischen Anwendung dieser Maschine entgegen. Bei der von RICHARD WITTY angegebenen Maschine [3] steht der obere Theil des Dampfbehälters selbst im Feuer, um den Dampf unmittelbar in demselben aus dem aufsteigenden Wasser zu erzeugen. Zugleich befindet sich darin ein Schwimmer mit einer durch den Deckel gehenden Stange, welche auswärts einen Hahn öffnet, und kaltes Wasser einspritzen läfst, wenn der Schwimmer durch den Dampf herabgedrückt ist. Nachher hebt das in der Steigröhre nach erster Abkühlung des Dampfes durch den Luftdruck aufsteigende Wasser den Schwimmer, der Hahn schliefst sich wieder, und die Dampfbildung beginnt aufs Neue [4].

Dieser Mechanismus und insbesondere die Steuerung scheinen zwar sehr einfach und zweckmäfsig, allein es dürften sich

1 Stuart. p. 173.

2 Repertory of Arts. VIII. 322.

3 Aus Magaz. d. neuesten Erfindungen in Bibl. univ. VI. 227.

4 Andere minder wichtige Veränderungen dieser Maschine, z. B. von P. KEIR S. Nicholson J. I. 419. daraus in G. XVI. 129. von MANOURY D'ECTOT nach Ann. C. P. XVIII. 183. übergehe ich der Kürze wegen.

bei der wirklichen Ausführung noch vielfache Schwierigkeiten zeigen; auf allen Fall aber würde diese Vorrichtung noch weit mehr Feuerung erfordern, als die andern Maschinen, welche einen abgesonderten Dampfkessel haben, überhaupt aber dürfen diese Saveryschen Maschinen, obgleich sie ihrem Erfinder unsterblichen Ruhm sichern, doch immerhin neben den andern bessern außer Gebrauch kommen [1].

8. Rotations-Maschinen.

Gleichzeitig mit den Vorschlägen Savery's, Papin's u. a. kam der bekannte Amontons auf eine Dampfmaschine, welche zwar wegen ihres künstlichen Baues und des erforderlichen vielen Brennmaterials nicht praktisch angewandt werden kann, als sinnreiche Erfindung aber hauptsächlich in Beziehung auf die damalige Zeit, und als erster Versuch einer sich um ihre Axe drehenden Maschine um so mehr gegen Vergessenheit gesichert zu werden verdient, als gerade diese Art von Maschinen bis auf die neuesten Zeiten herab vielfach verändert sind, und noch gegenwärtig nicht ohne Nutzen praktisch angewandt werden. Im Jahre 1699 legte Amontons der Pariser Akademie die Beschreibung seiner Maschine vor [2]. Sie besteht aus einem Rade, dessen innerer Raum vierfach, und jede der Abtheilungen wieder in 12 Kammern abgetheilt ist, welche sämmtlich von einander durch dampfdichte Wände getrennt sind. In den äußern Kammern A, B, C . . . befindet sich Luft, welche durch den Einfluß des Feuers ausgedehnt durch die krummen Röhren dringend auf die in den correspondirenden Kammern der dritten Abtheilung drückt, und hierdurch das Wasser durch die nur nach einer Seite sich öffnenden Klappen treibt, wodurch das Rad an einer Seite ein Uebergewicht erhält, und herumgedrehet wird. Es sey demnach das Rad in der Lage, welche

Fig. 129.

1 Nach Millington Grundriſs der theor. u. Experimental-Physik d. Ueb. Weimar 1825. S. I. 301. bedarf eine gut eingerichtete Maschine dieser Art doppelt so viel Feuerung, um einen gleichen Effect hervorzubringen, als eine der besseren nach der neueren Einrichtung. Die Steuerung kann bei jener durch ein Rad regulirt werden, welches das gehobene Wasser umtreibt.

2 Mém. de Par. 1699. p. 112.

die Zeichnung angiebt, so wird das Feuer die Luft in der Kammer A ausdehnen, diese auf das Wasser in a drücken, und dasselbe durch die Klappen in die Kammern b, c, d treiben, weswegen das Rad sich um seine Axe drehen, die Kammer B dem Einflusse der Wärme ausgesetzt werden, und auf gleiche Weise das Wasser in die Höhe drücken, die Kammer A aber in die Wassercisterne R R herabsinken und abgekühlt werden muſs, bis sie aufs Neue der Einwirkung des Feuers ausgesetzt wird. Nach Amontons soll der dritte Raum einen Durchmesser von 12 F. haben, 754 Kub. F. Wasser enthalten, deren Druck er auf 13202 ℔ berechnet, und mit dieser Kraft soll das Rad in 35 Sec. einmal umlaufen. Diese Geschwindigkeit ist gewiſs zu hoch angeschlagen, auſserdem aber das luftdichte Schlieſsen der Kammern zu schwer erreichbar, sonst bleibt es sehr fraglich, ob nicht eine solche Maschine nebenher bei einem geheizten Ofen vortheilhaft anzubringen wäre.

Watt versuchte eine rotirende Maschine aus einer luftdicht in einer andern drehenden Trommel herzustellen, bei welcher der Dampf bloſs nach einer Seite drückte, aber es war ihm unmöglich, das luftdichte Schlieſsen hervorzubringen, und als er den Apparat in Quecksilber oder leichtflüssiges Amalgama senkte, wurde das Metall zu bald oxydirt, und er gab daher die Idee auf [1]. Cooke schlug einen Cylinder vor mit Klappen, welche sich nur nach einer Seite durch ihr eigenes Gewicht öffnen sollten. Diesen legte er in einen andern halben ausgehöhlten Cylinder, lieſs den Dampf durch einen Zwischenraum zwischen beiden vom Erzeuger nach dem Condensator strömen, und auf diesem Wege sollte er die geöffneten Klappen vor sich her treiben und dadurch den ersten Cylinder umdrehen [2]. Eine nach Watt's Vorschlage eingerichtete, etwas abgeänderte rotirende Maschine schlug Cartwright vor [3], doch scheint sie nie, selbst nicht im Modelle ausgeführt zu seyn. Eben dieses war ohne Zweifel der Fall bei Murdock's Vorschlage [4], welcher zwar sinnreich ausgedacht ist, aber an der Un-

1 Rees Cyclop. Art. Steam Engine.
2 Transact. of the Roy. Irish Acad. 1787.
3 Repertory of Arts. X. 7.
4 Ebend. XIII. 11.

möglichkeit, alle Verbindungen gehörig dampfdicht zu verschliefsen, gewifs ein unübersteigliches Hindernifs finden würde. Eine dieser ähnliche Vorrichtung beschreibt BORONIS[1] unter dem Namen der Maschine von VERZY. HORNBLOWER[2] schlug gleichfalls zwei solche rotirende Maschinen vor, aber es scheint keine von beiden anders als etwa im Modell ausgeführt zu seyn, und GREGORY[3] hält das dampfdichte Schliefsen bei derselben gleichfalls für unerreichbar. Es ist in der That auffallend, dafs auch noch in diesem Jahrhundert nach der grofsen Vervollkommnung der WATT'schen Dampfmaschinen und nach Auffindung des Mechanismus zur Verwandlung der geradlinigen Bewegung derselben in eine rotirende dennoch so viele Vorschläge zu einfach rotirenden Maschinen bekannt gemacht sind, welche aber sämmtlich wegen der angedeuteten Hindernisse keine vortheilhafte Ausführung zulassen, und es wird daher genügen, sie nur historisch zu erwähnen. Dahin gehört die von ANDREW FLINT, von ROBERT WILLCOX, von MEAD, auch die künstlich gebaute von dem bekannten Mechaniker SAMUEL CLEGG, welche seiner Versicherung nach mehrmals ausgeführt seyn und den Absichten des Erfinders entsprochen haben soll, obgleich von andern[4] bedeutende Einwendungen dagegen gemacht sind, die der von MEAD angegebenen ähnliche von TURNER, zwei der ursprünglichen AMONTONS'schen am nächsten kommende von WILLIAM ONIONS und von WILLIAM CONGREVE[5], die nach COOKE's und CARTWRIGHT's früheren Angaben mit sinnreich ausgedachten Verbesserungen construirten von RIDER und hauptsächlich von MOORE, nebst noch einigen andern, welche einzeln namhaft zu machen zu weitläuftig seyn würde[6].

---

1 Mécanique appliquée aux Arts. Par. 1818 Comp. des Mach. p. 130.

2 Repertory of Arts. IX. 289.

3 Gregory Mechanics II. 387.

4 Repertory of Arts. XV. 325.

5 Bibl. univ. XIV. 132.

6 Die genannten findet man sämmtlich erwähnt und meistens nach deutlichen Zeichnungen beschrieben bei STUART a. a. O. Eine vollständigere Kenntnifs kann man sich verschaffen aus den zahlreichen Bänden des Repertory of Arts.

Diejenige rotirende Maschine, welche sehr sinnreich ausgedacht, allerdings eine praktische Anwendbarkeit verspricht, ist das MASTERMAN'sche Rad, welches die eine Zeichnung im lothrechten Durchschnitte darstellt, indem die andere einen solchen Durchschnitt der ganzen Maschine zeigt. Das Ganze ist ein hohles Rad, durch Klappenventile in einzelne Kammern abgetheilt. Der hohle Ring des Rades aa ist stets mit Wasser halb gefüllt, statt dessen ONIONS in seinem patentirten Vorschlage von 1811 ein unter der Siedehitze schmelzendes Metallgemisch zu nehmen räth, welches bei seinem gröfseren Gewichte ungleich wirksamer ist [1]. Um den Abgang des Wassers zu ersetzen, dient das Reservoir b mit einem Ventile c, welches sich durch den Schwimmer v gehoben selbst schliefst. Bedient man sich des nicht verdampfenden Metallgemisches, so kann dieses Reservoir entbehrt werden. Durch das Rohr m wird der Dampf aus dem Dampfkessel zugeführt, dringt durch die hohle Speiche d, füllt den Raum e, verschliefst das Ventil f, öffnet die Klappe g, treibt das Wasser vor sich hin, dafs es bis h aufsteigt, wodurch das Rad ein Uebergewicht erhält, und um seine Axe umläuft. Kommt die Speiche in die Lage vor k, so trifft der Dampf am unteren Ende im Kranze eine Oeffnung, durch welche er in den Condensator entweichen kann, wohin auch durch das Ventil i die etwa angesammelte Luft dringt. Die Gegengewichte n, n ... an den Klappen sind bestimmt, dieselben zu öffnen, damit sie der Bewegung des Wassers kein Hindernifs entgegensetzen. Ist die Maschine von einfachem atmosphärischen Drucke, so kann sie das Wasser nur bis 32 F. hoch drücken. Indefs will MASTERMAN, dafs man nur 28 F. Druckhöhe annehmen soll, wobei indefs der horizontale Querschnitt des Randes beliebig grofs seyn kann. Die Maschine läfst sich auch mit hohem Drucke einrichten, in welchem Falle das Rad eine beliebige Höhe haben, und der Dampf in die Atmosphäre entweichen kann [2]. Einige

Fig. 130. u. 131.

---

1 Millington a. a. O. p. 395. Jos. BAADER hat in München ein solches Rad, mit dem Metallgemische gefüllt, wirklich ausführen lassen, und zweckmäfsig gefunden, ONIONS dagegen verwarf dasselbe, weil es beim Erkalten durch seine Ausdehnung die Röhre sprengte.

2 Description of Masterman's Patent Rotatory Steam Engine. Lond. 1822. Repertory of Arts. 2d. Ser. XLI. 139.

Versuche, welche der Erfinder dieser Maschine mit derselben angestellt hat, sprachen sehr zu ihrem Vortheile, und ergaben z. B. dafs bei gleichem Aufwande von Kohlen diese gegen eine gewöhnliche Condensationsmaschine im Verhältnifs von 30 zu 19 wirkte. Die Maschine verdient also allerdings Aufmerksamkeit.

Endlich möge von den Rotations-Maschinen hier noch diejenige kurz beschrieben werden, welche ein gewisser STILES in Baltimore verfertigt, und wovon eine, von 60 Pferdekräften das Dampfschiff *Surprise* treibt, wodurch also die praktische Anwendbarkeit derselben vorerst erwiesen ist, obgleich das Verhältnifs ihrer mehr oder minder vortheilhaften Benutzung erst durch längere Zeit verglichene Erfahrung geprüft werden mufs. Sie ist im Baue sehr einfach und in der Hauptsache derjenigen nachgebildet, welche COOKE erfunden hat [1], jedoch in vielen Stücken zweckmäfsiger eingerichtet. Zur allgemeinen Kenntnifs derselben genügt eine Durchschnittszeichnung. Das Ganze besteht aus einem feststehenden Cylinder, in welchem ein anderer eingeschlosser durch die Kraft des Dampfes bewegt wird. Die festsitzende Axe des letzteren S ist zugleich die Welle der Schaufelräder, welche das Schiff treiben. In den äufseren Cylinder wird der Dampf aus dem Kessel durch das Rohr D D geleitet, und entweicht durch ein anderes D′ D′ in den Condensator. Der innere Cylinder schliefst mit seinen beiden äufseren flachen Seiten dampfdicht an die inneren Flächen des äufsern Cylinders an, weil aber der Durchmesser des ersteren kleiner ist als der des letzteren, so entsteht dadurch ein für den Strom des Dampfes offener Canal, welcher durch ein massives, dampfdicht passendes Stück L L oben verschlossen ist, so dafs die Bewegung des Dampfes daher nur nach einer Seite erfolgen kann. Es versteht sich dabei von selbst, dafs dieser Stopfer an der inneren Seite des äufseren Cylinders befestigt, die krumme Oberfläche des inneren Cylinders aber hinlänglich glatt ist, um durch Reibung nicht zu sehr an seiner Bewegung zu verlieren, eine bei diesen Maschinen sehr zu beachtende Bedingung. Auf der krummen Oberfläche des inneren Cylinders be-

Fig. 132.

---

1 Transact. of the Roy. Irish Acad. 1787. Stuart a. a. O. p. 150.

finden sich die beiden flügelförmigen Klappen i, i, welche eröffnet den Zwischenraum beider Cylinder, oder den Dampfcanal gänzlich verschliefsen, verschlossen aber sich so völlig dicht in die krumme Fläche des innern Cylinders einlegen, dafs sie auch beim Hingange unter dem Stopfer L L kein Hindernifs darbieten. Kommt die eine Klappe bei der Oeffnung in H an, so läfst sie den drückenden Dampf entweichen, während der Cylinder durch den Widerstand der andern Klappe umgetrieben wird, so dafs die erstere Klappe bei dem kegelförmigen Stücke u′ ankommend sich in ihr Lager legt. An den Klappen befinden sich die Hebelstücken t, t′, welche beim Niederlegen derselben sich um Zapfen drehend in dem inneren Raume der Quadranten aufgenommen werden, dann aber, wenn sich die Klappen wieder öffnen sollen, durch das Stück u u′ vorgeschoben werden, welches für diesen Zweck im äufsern Cylinder befindlich ist. Man kann das letztere von Aufsen durch Schrauben stellen. Auf solche Weise öffnet sich die eine Klappe, indem auf beiden Seiten der Druck des Dampfes gleich ist, und die andere schliefst sich in dem schon mit dem Condensator verbundenen Raume, so dafs ihrer Bewegung, aufser der Reibung, kein weiteres Hindernifs im Wege steht. Die Klappen sind von Kupfer, und etwas trapezoidalisch, weil der Dampfcanal nach Aufsen etwas enger wird. In einer Rinne in beiden Flächen des innern Cylinders, desgleichen in einer Furche in dem äufsersten Ringe, welcher die beiden Flächen des äufsern Cylinders aus einander hält, liegen die das Entweichen des Dampfes hindernden Garnirungen, welche angedrückt werden, wenn man die beiden Scheiben des äufsern Cylinders durch die in der Zeichnung angedeuteten Schrauben auf den äufsern Ring prefst. Aehnliche Garnirungen des massiven Stopfers L L liegen zwischen metallenen Scheiben, und werden durch Schrauben angedrückt. Sie werden sämmtlich alle Monate oder dreimal im Jahre erneuert.

Die Maschinen sind von hohem Drucke, und daher wird der Dampf blofs abgekühlt in einem durch äufseres kaltes Wasser stets kühlen Behälter, in welchem es sich sammelt, und dem Siedekessel wieder zur Speisung dient. Man verliert bei dieser Maschine offenbar viel dadurch, dafs der Dampf von hoher (fünf oder gar zehnfacher Elasticität) entweicht, welches aber der gleichmäfsigen Bewegung wegen geschehen mufs, doch

liefse sich viel gewinnen, wenn man eine Expansionsmaschine daraus machte, und ein Schwungrad anbrächte. Uebrigens ist der innere Durchmesser des grofsen Cylinders = 1,^{m}5 der Zwischenraum zwischen den Cylindern 0,^{m}152 zwischen den Flächen 0,^{m}483 und das Gewicht des Ganzen vier bis fünf Tonnen; sie hat 3 Dampfkessel, welche mit einander in Verbindung stehen, 7 Tonnen Wasser halten und leer ohngefähr 8 Tonnen wiegen. Das Dampfschiff, welches durch diese Maschine getrieben wurde, obgleich übrigens nicht vortheilhaft gebauet, soll 1817 alle andere an Geschwindigkeit übertroffen haben. Der Preis einer solchen von 63 Pferdekräften sollte 66000 Francs und von 40 Pferdekräften 44000 Francs betragen [1].

4. Dampfmaschinen mit einem Embolus.

Unter den Papieren des gelehrten und in jeder Hinsicht genauen Dr. Robison fand sich ein Memorandum, wonach der berühmte Dr. Hooke schon 1678 die *Newcomensche Dampfmaschine* angegeben haben soll [2]. Indefs ist dieses nicht wahrscheinlich, weil aus einigen seiner nachgelassenen Papiere und verschiedenen Vorträgen bei der Akademie hervorgeht, dafs er noch später über die Ausführbarkeit des Papin'schen Vorschlags, einen leeren Raum durch entzündetes Schiefspulver zu erzeugen, und diesen durch den Druck der atmosphärischen Luft zur Bewegung von Maschinen zu benutzen, nachdachte, ihn als unmöglich verwarf, wohl aber in seinem Briefwechsel mit dem Eisenschmiede Thomas Newcomen und dem Glaser John Cawley, beide in Dartmouth, diese darauf führte, das Vacuum lieber durch Dämpfe hervorzubringen [3]. Die erste Idee zu denjenigen Dampfmaschinen, welche diese nachher erfanden, und welche alle spätere Verbesserungen veranlafst hat, wurde also durch Papin gegeben, die Sache mehr geregelt durch Hooke, die Erfindung selbst und ihre vollständige Ausführung gehört aber den beiden genannten Männern, welche 1705 ein Patent über diese Maschinen erhielten. Im Allgemeinen wurde bei den-

1 Marestier a. a. O. p. 108 ff.
2 Stuart a. a. O. p. 20.
3 Ebend. p. 58.

selben der heiſse Wasserdampf in einen Stiefel geleitet, hob den Embolus in demselben, und nachdem dann der Stiefel durch umgebendes Wasser abgekühlt war, drückte die Luft den Embolus nieder; diese Luft war somit die eigentlich bewegende Kraft, und die Maschinen wurden daher *atmosphärische Dampfmaschinen* genannt. Erst 1711 schlossen die Erfinder einen Contract ab, eine zum Heben des Wassers bestimmte Maschine zu erbauen, wozu ihnen POTTER behülflich war. Indeſs kannten sie die Theorie so wenig, daſs sie das richtige Verhältniſs der Theile nicht herzustellen vermochten, hatten aber das Glück, daſs der Zufall sie auf eine wesentliche Verbesserung ihrer Erfindung führte. Bei ihren Maschinen nämlich, eben wie bei der Savery'schen geschah die Abkühlung des Stiefels durch Wasser, welches denselben von Auſsen umgab, und dieses dauerte lange. Zufällig bewegte sich ihre Maschine viel schneller, als früher, sie entdeckten, daſs dieses in Folge eines Loches geschah, durch welches kaltes Wasser in den Stiefel drang, und sie benutzten dann dieses zweckmäſsigere Mittel zur schnelleren Abkühlung des Dampfes [1]. Man hat zwar später diese atmosphärische Dampfmaschine noch verschiedentlich verbessert, allein da sie schwerlich wieder in Gebrauch kommen wird, so verdient sie ihres geschichtlichen Interesses wegen in der ursprünglichen einfachen Gestalt hier dargestellt zu werden. Die einzelnen Theile bedürfen nur einer kurzen Beschreibung. Der Kessel b, welcher in dem Heerde bei n so geheizt wurde, daſs der Rauch oder die heiſse Luft durch die Räume x, x um denselben ging, und welcher bei s ein Sicherheitsventil hatte, lieſs den Wasserdampf nach Oeffnung des Hahns d in den Stiefel a aufsteigen, so daſs der Embolus t gehoben wurde, nicht sowohl durch die Elasticität des Dampfes, als vielmehr durch das Uebergewicht des Balanciers. War der Embolus oben, so wurde der Hahn d geschlossen, f dagegen geöffnet, und es spritzte Wasser aus dem Gefäſse g in den Stiefel, condensirte den Dampf, und der Embolus wurde durch den Druck der Atmosphäre niedergedrückt, wobei das aus den Dämpfen gebildete und das eingespritzte Wasser durch das Rohr p in einen tief liegenden Behälter mit Wasser abfloſs. Das Gefäſs g

Fig. 183.

1 Ebend. p. 65.

füllte sich durch das Rohr q vermittelst der an der Stange m angebrachten Druckpumpe, die Hähne c, c dienten aber dazu, um zu wissen, wie hoch das Wasser noch im Kessel stand.

So unvollkommen auch diese Maschine ist, so muſs man doch berücksichtigen, daſs die Luft bei 28 Z. Barometerhöhe gegen einen Par. Quadratfuſs mit einem Gewichte von 2316 ℔. drückt [1]. Angenommen, daſs der Dampf nur bis 40° R. abgekühlt wurde [2], wobei er noch eine Elasticität von 3,37 Z. hat; so betrug dann der Druck dennoch nahe 2037 ℔. gegen einen Quadratfuſs, und so lieſs sich mit einem Embolus von drei Quadratfuſs Fläche doch nach Abzug der Reibung eine Kraft von 6000 ℔. erhalten. Bei einer solchen Maschine war ein Knabe, Humphry Potter, zum Reguliren der Hähne angestellt, welcher dieses aber zu mühselig fand, und daher einen Mechanismus anbrachte, daſs sie durch die Bewegung des *Balanciers* regiert wurden. Viel vollständiger aber wurde diese Selbststeuerung nebst sonstigen Verbesserungen durch Henry Beigton bei der von ihm 1718 zu Newcastle-on-Tyne errichteten Dampfmaschine angebracht, welche auch das von Desaguliers angegebene Sicherheitsventil mit einem Hebel erhielt. Diese Maschinen zeigten bald einen groſsen Vorzug vor den Savery'schen, namentlich rücksichtlich des Effectes und der Ersparniſs an Brennmaterial, so daſs sie in groſser Menge und von ungeheurer Gröſse erbauet wurden, auch ist ihre Zahl noch jetzt gröſser als derer mit hohem Druck. Unter die bedeutendsten gehören diejenigen, welche zu Königberg, in Ungarn, und eine andere, welche in London zum Heben des Wassers aus der Themse errichtet wurde [3], nebst verschiedenen in Frankreich schon vor

---

1 S. *Aerostatik* I. 262.

2 Nach Robison's Angabe. Bei den meisten Newcomenschen Maschinen beträgt indeſs die Wärme des aus dem Dampfe gebildeten Wassers noch 49° bis 63° R. nach Watt bei Robison Mech. Phil. II. 96. Die Abkühlung ist demnach sehr unvollkommen.

3 Leupold Theat. mach. gener. Tab. LII. LIII. Theat. mach. Hydr. Tab. XLIV. Weidler Tractat. de Machinis hydraulicis, toto orbe Terrarum maximis, Marliensi et Londinensi. Viteb. 1728. 4. John Allen Narrative of several New Inventions and Experiments, particularly the navigating a ship in a Calm and Improvements on the Engine to raise

1744 erbaueten, namentlich die zu Fresne bei Condé, zu Sars unweit Charleroi für die Kohlenminen und eine bei Namur in den Bleiminen [1], von denen die zu Fresne durch Belidor genau beschrieben ist [2]. Eine wesentliche Schwierigkeit gegen die Dauerhaftigkeit dieser Maschinen lag in der Verbindung des Stiefels mit dem Kessel, indem beide allezeit eine die Verbindungen endlich auflösende Erschütterung durch das Anschlagen des Embolus beim Aufsteigen und Niedersinken erhielten, so dafs auch Smeaton die erforderliche Festigkeit nicht herausbringen konnte, und selbst dann bleibt diese schwierig, wenn auch der Stiefel vom Kessel getrennt, und für sich hingestellt befestigt wird.

Diese Maschinen waren nach ihrem ursprünglichen einfachen Baue nur zum Heben des Wassers bestimmt und eingerichtet; der erste Schritt aber, sie für die Mechanik im weitesten Umfange anwendbar zu machen, geschah durch Jonathan Hulls 1736, indem er vorschlug [3], sie mit einem Schwungrade zu versehen, und dieses durch eine Kurbel in Bewegung zu setzen, eine wesentliche Verbesserung, auf welche er ein Patent nahm, ohne dafs das Publicum dieselbe beachtete oder in Anwendung brachte. Um 1758 gab Fitzgerald [4] noch genauer an, wie man durch ein am Balancier angebrachtes Räderwerk ein Getriebe, und durch dieses ein Schwungrad in Bewegung setzen könne, um eine stets gleichförmige Bewegung zu erhalten, aber auch dieses wurde nicht beachtet, wenn es gleich fraglich ist, ob Watt von beiden Erfindungen, wie Stuart [5] meint, keine Kenntnifs gehabt habe.

Die *atmosphärischen Dampfmaschinen* kamen stets mehr in Aufnahme, insbesondere seitdem Smeaton allen ihren Theilen eine bessere, sachgemäfse Proportion gegeben hat-

---

Water by Fire. Lond. 1730. 8. De la Motraye Voyage en Europe, Asie et Afrique. à la Haye 1732. III vol. fol. III. 360.

1 Gensanne in Machines Approuvés. VII. 300.

2 Architecture hydraulique. Par. 1757. IV Vol. 4. II. 308.

3 A Description and draught of a new-invented machine for carrying vessels or ships out of or into any harbour cet. Lond. 1737.

4 Phil. Trans. 1758. 68. 370.

5 a. a. O. p. 91.

te. Sie wurden nicht blofs in England gebraucht, sondern auch in Holland, Frankreich und um 1760 wurde sie auch im Brittischen Amerika eingeführt. Indefs beginnt eine neue Periode mit JAMES WATT, welcher 1736 geboren, zum mathematischen Instrumentmacher bestimmt und durch den Umgang mit seinem Freunde, dem berühmten Geometer ROBISON gebildet, 1757 Aufseher des mathematischen und physikalischen Cabinettes in Glasgow wurde [1]. ROBISON, welcher damals dort studirte, richtete die Aufmerksamkeit desselben auf ein bewegliches Modell der *Newcomenschen* Dampfmaschine, indem er glaubte, solche Maschinen könnten überhaupt als bewegendes Mittel, selbst beim Fuhrwerke gebraucht werden. Nach mancherlei Versuchen, welche er anstellte, und nach vielfachen Unterhaltungen über die Natur der Dämpfe mit DR. BLACK und ROBISON [2] kam er zu der Ueberzeugung, dafs der Dampf zu seiner Abkühlung einer zu grofsen Menge Wasser bedürfe, dagegen aber als elastisches Fluidum in jeden ihm eröffneten leeren Raum eindringen, und, wenn derselbe kalt sey, dort von selbst verdichtet werden müsse, welches er als neues Princip bei seinen Dampfmaschinen zum Grunde legte, indem er den Condensator seitwärts anbrachte, und ihn mit einer Pumpe versah, um das Wasser und die Luft aus demselben herauszuziehen. Um ferner die Verdampfung des Wassers des bisher nafs gebrauchten Embolus zu entfernen, machte er ihn mit Fett luftdicht, und damit endlich die auf demselben ruhende Luftschicht der Stiefel nicht abkühlen möchte, bedeckte er letzteren mit einer Kappe, liefs die Stange des Embolus luftdicht durch eine Stopfbüchse in derselben sich bewegen, und den Dampf sowohl auf die obere, als auch auf die untere Seite des Embolus wirken. Hierin bestanden seine wesentlichen Verbesserungen, durch welche die Maschine zur *eigentlichen Dampfmaschine* wurde, das erforderliche Brennmaterial aber bis auf ein Drittheil des früher verbrauchten herabkam [3]. Im Jahr 1768 legte WATT in Verbindung mit DR. ROEBUCK eine Maschine nach seiner Erfindung zu Kinneil in den Kohlenminen des Herzogs von HA-

1 Playfair in Monthly Mag for 1819.
2 Erzählt durch Watt selbst in Robinsons Mech. Phil. II. 117.
3 Vergl. Stuart a. a. O. p. 98 ff.

MILTON an, welche als Probestück vielfach abgeändert und verbessert wurde [1], und erhielt im folgenden Jahre ein Patent darüber. Die Maschine hatte Selbststeuerung, aber noch kein Schwungrad, und hieſs *single reciprocating Engine*. Um seinem erfinderischen Talente einen weiten Spielraum zu geben, bot sich eine Gelegenheit dar, indem er sich 1773 mit dem unternehmenden BOULTON verband, und nach einem 1775 auf 25 Jahre erhaltenen Patente eine Fabrik in SOHO bei BIRMINGHAM anlegte [2].

Es würde zu weit führen, wenn ich alle einzelne Verbesserungen der Zeitfolge nach, wie sie erfunden und eingeführt wurden, genau erläutern wollte, und es mögen daher nur die wichtigsten hier erwähnt werden. Bei der einfachen Maschine drückte der Dampf nur gegen die eine Seite des Embolus, und es ging daher durch die Bewegung des Gegengewichts eine Menge Kraft verloren. Wurde die Maschine blos zum Wasserheben gebraucht, so ist durch die langen herabgehenden Ketten und Pumpenstangen dieses Gegengewicht ohnehin vorhanden, und der Verlust nicht eigentlich vollständig. Im Allgemeinen aber ging WATT sehr bald zu seiner doppelten condensirenden Maschine (*double condensing Engine*) über [3], bei welcher der Dampf abwechselnd auf die obere und untere Seite des Embolus wirkt, und zugleich unter der entgegengesetzten condensirt wird. Sie leistet den doppelten Effect in der Hälfte der Zeit, als die einfache, erfordert aber auch die doppelte Menge von Dampf, und der Effect ist also der Menge des verbrauchten Dampfes proportional [4]. Das *Schwungrad*, durch eine Kurbel bewegt, führte er gleichfalls ein, und brachte bei demselben die umlaufenden Räder (*Sun and Planet Wheels*) an. Die Sache selbst ist aus der Zeichnung leicht ersichtlich. An dem herabgehenden Arme x des Balanciers ist das Rad b, an dem Schwungrade aber das Rad a, beide in einer Ebene lie-

Fig. 134.

---

1 Rees Cyclop. Art. Steam Engine.

2 Playfair in Monthly Mag. 1819.

3 Ein gewisser FALK wollte ihm diese Erfindung späterhin streitig machen. S. Falk description of an improved Steam Engine. Lond. 1779. 8.

4 Stuart a. a. O. 131.

gend, befestigt, eine Schiene hält beide in gleicher Entfernung, und zwingt ihre Zähne in einander zu greifen. Bewegt sich dann die Stange x durch die Bewegung der Dampfmaschine auf und nieder, so laufen beide Räder um einander um, und die Bewegung des Schwungrades ist doppelt so schnell als mit der Kurbel. Allein die Einrichtung ist kostbar und kommt leicht in Unordnung, weswegen man neuerdings wieder zur Kurbel zurückgekehrt ist. Zu WATT's condensirenden Maschinen gehört auch diejenige, welche PERRIER zu *Chaillot* bei *Paris* errichtet, und PRONY sehr im Einzelnen beschrieben hat [1]. Nach diesem Schriftsteller ist dieselbe zwar durch PERRIER selbst nach englischen Mustern verfertigt, allein nach STUART's [2] weit glaubwürdigerer Angabe ist sie durch denselben bloſs zusammengesetzt, indem sie in allen ihren Theilen zu *Soho* gekauft und nach Frankreich transportirt wurde.

Vorzugsweise verdient wohl die Einrichtung der sogenannten *Expansionsmaschinen* eine nähere Erörterung. Der Name kommt davon her, weil man dem Dampfe unter oder über dem Embolus, nachdem man den weiteren Zufluſs gesperrt hat, noch weiter durch seine Expansion zu wirken verstattet, welches zwar bei allen Maschinen, am vortheilhaftesten aber bei denen mit hohem Drucke angewandt werden kann. Wird nämlich der Stiefel ganz mit Dampf erfüllt, so wird er nach Beendigung der Bewegung des Embolus noch die nämliche Kraft haben, als im Anfange, und würde also der Embolus zwar mit verminderter, aber auf allen Fall noch mit einiger Kraft zu heben im Stande seyn, wenn eine weitere Bewegung desselben möglich wäre. Wie das Gesetz der Ausdehnung des Dampfes in einen gröſseren gegebenen Raum sey, ist noch nicht ausgemacht [3], indem durch die gröſsere Ausdehnung zugleich Wärme gebunden und dadurch die Elasticität des Dampfes vermindert wird. Geht indeſs die Ausdehnung nicht so sehr schnell vor sich, und sind die Wände des Stiefels heiſs genug, um den Wärmeverlust mindestens zum gröſsten Theile zu ersetzen, so

1 Prony Neue Architectura Hydraulica übers. von Langsdorf. T. II.

2 Stuart a. a. O. p. 140.

3 Vergl. *Dampf; latente Wärme desselben.*

wird zwar die Pressung dem Mariotteschen Gesetze nicht absolut, aber doch nahe genau proportional seyn, und also der Dampf, wenn man z. B. den Stiefel nur halb füllt, dann den Hahn verschliefst und den Dampf sich auch in der zweiten Hälfte des Cylinders ausbreiten läfst, im Anfange noch die Pressung = 1, am Ende die = 0,5, also im Mittel eine Pressung = 0,75 zu seiner in der ersten Hälfte geleisteten hinzuzufügen im Stande seyn. Christian[1] macht dieses durch folgende Berechnung anschaulich. Man nenne den Inhalt eines Stiefels = 1, theile ihn in 20 gleiche Theile, lasse den Dampf von der Spannung = 1 in den Stiefel treten, so wird er mit einer bewegenden Gewalt = 20 und einer erforderlichen Menge = 20 den Embolus in die Höhe treiben, wenn man den Stiefel ganz damit erfüllt werden läfst. Verschliefst man aber den Hahn, wenn der Embolus 5 Räume durchlaufen hat, und läfst ihn dann sich ausbreiten, bis der ganze Stiefel erfüllt ist, so ergiebt sich folgendes Verhältnifs der Räume und der Pressungen am Ende des vom Embolus durchlaufenen ganzen Raumes.

Räume		Pressungen	Räume		Pressungen
0,05	—	1,000	0,55	—	0,454
0,10	—	1,000	0,60	—	0,417
0,15	—	1,000	0,65	—	0,385
0,20	—	1,000	0,70	—	0,357
0,25	—	1,000	0,75	—	0,333
0,30	—	0,830	0,80	—	0,312
0,35	—	0,719	0,85	—	0,294
0,40	—	0,625	0,90	—	0,278
0,45	—	0,556	0,95	—	0,263
0,50	—	0,500	1,00	—	0,250

Indem also der Embolus den ganzen Raum des Stiefels oder die zwanzig Abtheilungen durchläuft, erhält er durch den Dampf im Ganzen 11,573 Pressungen. Hätte man den Stiefel ganz erfüllen lassen, so würde die Summe der Pressungen = 20 seyn, mithin leistet die Maschine im Ganzen einen Effect von 11,573 : 20, allein dafür sind auch nur 5 Räume, also 0,25 des Ganzen mit Dampf von der ursprünglichen Elasticität erfüllt ge-

1 Mecan. indust. II. 369.

wesen, und während nur der vierte Theil des Dampfes consumirt wird, erhält man mehr als die doppelte Wirkung. Es geht aus dieser Darstellung hervor, daſs der Gewinn an Nutzeffect um so gröſser ist, je weniger Dampf von gegebener Expansion man in den Stiefel treten, oder je mehr man denselben sich expandiren läſst. Nach Stuart [1] gehören unter gleicher Voraussetzung folgende erfüllte Räume des Stiefels und Effecte ein ander zu

Räume		Effecte	Räume		Effecte
1	—	1,0	$\frac{1}{5}$	—	2,6
$\frac{1}{2}$	—	1,7	$\frac{1}{6}$	—	2,8
$\frac{1}{3}$	—	2,1	$\frac{1}{7}$	—	3,0
$\frac{1}{4}$	—	2,4	$\frac{1}{8}$	—	3,2

Indeſs bemerkt Christian, daſs es schwer sey, aus der Theorie scharfe Folgerungen für die Praxis zu entlehnen, Stuart aber, daſs der Erfahrung nach über eine vierfache Ausdehnung des Dampfes keine bedeutende Pressung desselben mehr statt finde [2]. Watt ersann diese Verbesserung der Maschinen schon 1769, und erhielt über dieselben, *Expansion Engine* genannt, ein Patent, welches 1775 erneuert wurde. Die erste groſse Maschine dieser Art erbauete er 1774, aber seit 1778 wurden sie sehr allgemein. Eine solche Maschine ist die in der Mine *Union* von Cornwallis, deren Stiefel 63 Z. Durchmesser hat. Das jederzeit in der Pumpe befindliche Wasser wog 82000 ℔ und mit dieser Last macht der Embolus 6,5 Hub beim Aufsteigen und eben so viel beim Niedersteigen, so daſs dieselbe 100,75 F. in einer Minute gehoben wird. Für 1 F. hoch in einer Minute zu heben giebt dieses 8261500 ℔ und ersetzt also der Berechnung nach eine Kraft von 250 Pferden [3]. Eigentliche solche *Watt'sche Expansionsmaschinen* mit hoher Pressung verfertigte unter andern der Amerikaner Oliver Evans, welcher später in seinem Vaterlande eine ausgedehnte Werkstatt

---

1 a. a. O. p. 126. Eine andere allgemeine Berechnung von Prechtl findet man in Jahrb. d. polyt. I. I. 128.

2 Marestier a. a. O. p. 224. giebt eine umfassende Berechnung der Wirkungen dieser Maschinen zunächst in Beziehung auf die von Evans verfertigten. Watt's anfängliche Theorie giebt Robison II. 128.

3 Partington a. a. O. p. 31. S. unten: *Effect der Dampfmaschinen.*

solcher Maschinen anlegte [1]. Mit einiger Abänderung wurden sie aber einige Zeit nachher, nach einem früheren Vorschlage des oben genannten Dr. Falk, später durch Hornblower in die zweistiefelige verwandelt, indem er den Dampf aus dem ersten Stiefel vor der Condensation in einen zweiten gröfseren treten, und ihn erst dann condensirt werden liefs, nachdem er sich in diesem expandirt hatte [2].

Mit noch mehr Erfolg und in gröfserer Ausdehnung wandte Arthur Woolfe seit 1804 das Princip der Expansion auf die Dampfmaschinen an [3]. Er hatte nämlich aufgefunden, dafs Dampf von einer gröfseren Elasticität als die der Atmosphäre sich so viel mal ausdehnen konnte, als seine Elasticität in Pfunden die der Atmosphäre übertraf, und doch noch derselben das Gleichgewicht hielt. War z. B. der Dampf so erhitzt, dafs er mit einem Gewichte von 3 ℔ auf einen Quadratzoll gegen das Sicherheitsventil drückte, so konnte er sich von 1 Kub. F. in drei ausdehnen, drückte er mit 4 ℔ Kraft gegen einen Quadratzoll, welches ohngefähr bei 220°,5 F. 83°,78 R. der Fall war, so konnte er sich zu 4 Kub. F. ausdehnen, und der atmosphärischen Luft noch das Gleichgewicht halten. Seinen weiteren Versuchen nach geben 227°,5 F. = 86°,89 R. 5 ℔; 230° F. = 88° R. 6 ℔; 237°,5 F. = 91°,33 R. 9 ℔. 259° F. = 100°,91 R. 20 ℔ und 282° F. = 111,11 R. 40 ℔ Druck gegen einen Quadratzoll [4]. Hiernach verfertigte er also Dampfmaschinen mit 2 Cylindern, wovon der zweite in gehörigem Verhältnisse gröfser war als der erste. Hielt z. B. der erste drei Kub. F. Dampf von 4 ℔ Elasticität auf einen Quadratzoll, so mufste der zweite 12 Kub. F. halten. Indefs wurde in den

---

1 Manuel du Constructeur des Machines à Vapeur par O. Evans trad. par Doolittle. Par. 1821. 8.

2 Repertory of Arts. Lond. IV. 361. Short Statement of Boulton and Watt, in Opposition to Hornblower's Renewal of Patent. Lond. 1792. 8.

3 Bibl. Brit. XXVIII. 271 ff. Phil. Mag. XIX. 133. XXIII. 123. XLVI. 43. Vergl. G. LV. 294.

4 Diese Angaben weichen von der oben gegebenen Tabelle sehr ab, und wurden, als zu ungenau, in der Anwendung nicht bestätigt gefunden.

Ausführung das Verhältnifs von 6 Kub. F. und 9 Kub. F. als das vortheihafteste gefunden, und bei denen, die darüber hinausgingen, war der Erfolg zweifelhaft. Die Einrichtung war übrigens so wie die von HORNBLOWER [1], und da man über das Verhältnifs des gebrauchten Brennmaterials und des erhaltenen Nutzeffectes dieser Maschinen mit den gewöhnlichen keine im Grofsen angestellte vergleichende Versuche hat, so läfst sich über den Vortheil, den sie gewähren könnten, nicht bestimmt entscheiden, jedoch erfordert die Anschaffung von zwei Cylindern mehr Kosten, das dampfdichte Schliefsen ist bei den mehreren Röhren und zwei Stiefeln weniger leicht erreichbar, die doppelte Oberfläche zweier Cylinder ist schwieriger gegen Abkühlung zu sichern, und sie scheinen also hiernach den oben beschriebenen einfachen Expansionsmaschinen nachzustehen. Beobachtungen führen indefs, wenn man die zu verschiedenen Zeiten vorkommenden Ungleichheiten abrechnet, allerdings zu dem Resultate, dafs durch Anwendung von zwei Cylindern mit Expansion an Brennmaterial gewonnen wird, welches indefs auch eine Folge genauerer Arbeit oder des Vortheils der Expansion überhaupt seyn kann. So fand man bei 8 Condensationsmaschinen, dafs mit einem Buschel Kohlen etwas über 20 Mill. ℔ Wasser einen Fufs hoch gehoben wurden, nachher erhielt man 32 Mill. ℔, die Woolfeschen Expansionsmaschinen aber hoben mit derselben Quantität von 44 bis 52 Mill. ℔ welches im Allgemeinen aber nur für die Maschinen mit hohem Drucke und für die Expansionsmaschinen entscheidet [2]. Uebrigens ist der Bau der letzteren im Allgemeinen und auch der zweistiefligen nicht mit eingenthümlichen Schwierigkeiten verbunden. Es seyen, um dieses im Allgemeinen zu erläutern, die beiden Stiefel A und B von der erforderlichen proportiona- Fig. 135.

1 Nicholsons J. VIII. 262. Phil. Mag. XIX. 133.

2 Stuart a. a. O. p. 170. Nach Marestier Mémoire sur les bateaux à vapeur des États unis d'Amerique Par. 1825. 4. p. 107. haben die einfachen Expansionsmaschinen von EVANS allerdings einen Vorzug vor den doppelten von WOOLFE. Ausführliche und schätzbare Untersuchungen des Effectes der verschiedenen Maschinen nach den neuesten Verbesserungen findet man in Rapport fait à l'Institut de France sur les avantages, sur les inconvéniens et sur les dangers comparés des machines à vapeur oct. par Dupin. Par. 1823. 46. S. 8.

len Gröfse so mit einander durch zwei Röhren verbunden, d
der obere Theil des einen mit dem unteren des anderen co
municirt. Tritt alsdann der Dampf durch das Rohr z über d
Embolus C, indem die Hähne a, b und c geöffnet, d, e un
aber verschlossen sind, so drückt derselbe den Embolus C, u
indem er aus A entweicht, zugleich den Embolus D her
unter welchem der gebrauchte Dampf durch das Ventil c w
in den Condensator entweicht und niedergeschlagen wird. Si
beide Emboli herabgegangen, so schliefsen sich die drei Vent
a, b und c, es öffnen sich die drei andern d, e und f, und be
de Emboli werden gehoben.

Die meisten noch üblichen Dampfmaschinen sind d
doppeltwirkenden (*double reciprocating*) mit einfache
Drucke und Condensation von Watt und Boulton, und u
von denselben eine Uebersicht zu erhalten, möge folgende Be
schreibung einer solchen vollständigen mit ihren wesentlichst
Fig. 156. Theilen dienen [1]. Bei B ist ein Theil der Dampfröhre, durc
welche der Dampf zum Stiefel E gelangt, dessen Mantel, od
auswärts umgebender Cylinder die Zeichnung darstellt. Ve
mittelst einer Klappe wird demselben der Eingang in die Dampf
büchse F F gestattet, in welcher halbcylindrischen Oeffnun
vermittelst der Stange o o ein Schiebladenventil bewegt wir
damit der Dampf durch die Röhren 21 und 22 abwechselnd üb
und unter den Kolben gelangt. Die Kolbenstange G, welc
somit auf- und abwärts steigt, setzt den einen Arm des Balan
ciers H in Bewegung, dessen anderer Arm die Treibstange
mittelst derselben die Kurbel N und durch diese das Schwun
rad W bewegt. Um die Kolbenstange G stets in vertical
Richtung zu erhalten, während das Ende von H ein Bogenstü
durchläuft, dienen die Stangen g, g und das Parallelogramm h

---

1 Vergl. Bernoulli Anfangsgründe d. Dampfmaschinenlehre. Ba
sel 1824. 8. p. 52. Aehnliche Beschreibungen finden sich in den er
wähnten Werken von Partington, Robison, J. Smith Panorama
Science and Art. Lond. 1823. 8. T. II. Borgnis, Christian, sehr au
führlich bis auf die einzelnen Theile, Héron de Villefosse in de l
Richesse Minérale. Par. 1819. 4. III. 50 ff. Prony Neue Architect
Hydraulica übers. v. Langsdorf. 1801. 4. T. II. Beide Werke mit vie
len Kupfern, letzteres zugleich die Theorie berücksichtigend.

Die Stange G selbst geht dampfdicht in der Stopfbüchse 23. Das Schiebladenventil in F, F eröffnet zugleich dem Dampfe, nachdem er den Embolus gehoben oder niedergedrückt hat, einen Ausweg in den Condensator R R durch die Röhre Q. Ersterer ist ein geschlossener Raum, in welchen stets durch u, u kaltes Wasser fliefst, dessen Menge durch den Hahn m regulirt wird, und um aus demselben sowohl dieses Wasser, als auch das aus dem Dampfe niedergeschlagene und die stets freigewordene Luft wegzuschaffen, dient die Pumpe S, deren Embolus durch die am Parallelogramm des Balanciers festsizzende Stange I bewegt wird. Das hierdurch gehobene warme Wasser gelangt in einen Behälter, in welchem eine zweite Pumpe, die Warmwasserpumpe V steht, eine gewöhnliche Druckpumpe, durch welche das verdampfte Wasser dem Kessel wieder zugeführt wird, und deren Embolus die gleichfalls am Balanciere befestigte Stange K in Bewegung setzt. Das erforderliche kalte Wasser wird durch die Kaltwasserpumpe U vermittelst der am andern Ende des Balancier's befestigten Stange L aus einem Brunnen gehoben, oder bei einer blofs zum Wasserheben bestimmten Maschine auch wohl von dem auf diese Weise geförderten Wasser genommen, gelangt durch die Röhre u u in die Cisterne P, und hieraus in erforderlicher Menge durch Regulirung des Hahns m vermittest der Stange n in den Condensator. Am Schwungrade selbst befindet sich die excentrische Scheibe s, durch welche das Gestänge t, t seine Bewegung erhält, vermittelst dessen der Winkelhebel r, hierdurch die Stange o o in Bewegung gesetzt, und durch diese das Schiebladenventil abwechselnd geöffnet und geschlossen wird. Concentrisch mit dem Schwungrade läuft das gezahnte Rad p, dessen Zähne in das Getriebe q q greifen, und dadurch die Spindel des Moderators oder konischen Pendels P herumtreiben, dessen Hebelarme den Mechanismus in Bewegung setzen, welcher die Dampfklappe v mehr oder weniger öffnet, und hierdurch die Geschwindigkeit des Ganges der Maschine regulirt. Als Nebensachen sind anzusehen eine durch einen Hahn verschlossene Oeffnung bei 24, durch welche frisches Oel, den Embolus zu schmieren, in den Stiefel gelassen wird, und die Barometerprobe bei i, welche die Elasticität des Dampfes über den atmosphärischen Druck anzeigt. An der Axe des Schwungrades be-

um ihn festzuhalten, und dieser greift in eine Rinne der Platte M. E E ist der Raum, in welchen der Dampf dringt, und von wo aus er durch B B über und durch S S unter den Embolus gelangt; F F ein Behälter für den Dampf; H die Stange, welche das Schiebventil vermittelst eines gezahnten Sectors bewegt; K eine Feder, um diese Stange gegen die konisch zulaufenden Oeffnungen zu drücken, worin sie sich bewegt, und dadurch zugleich das Entweichen des Dampfes zu hindern; U der Canal, welcher zum Condensator führt.

Fig. 139. Eine noch deutlichere Ansicht gewährt ein unterer Schnitt des Stiefels mit einigen zugehörigen Theilen in der Gegend des Ventils. Hier ist A der Stiefel; I der Canal, durch welchen der Dampf über den Embolus gelangt; G G Basis des Schiebventils; S, T Oeffnungen, durch welche der Dampf über und unter den Kolben gelangt; U Canal, welcher zum Condensator führt, v, v, v, v vier geneigte Ebenen, welche dazu dienen, das Ventil aufzuheben, wenn die Luft weggeschafft und die Maschine in Gang gesetzt werden soll; L Luftpumpe; z Stange der Luftpumpe und a einer der Arme, welcher dazu dient, das Ventil vermittelst jener Stange in Bewegung zu setzen; b Condensator. Die Zeichnungen stellen die Maschine in dem Augenblicke dar, wenn der Dampf durch T über den Embolus strömt, und diesen niederdrückt, zugleich aber durch S unter demselben weg in den Condensator dringt.

Soll die Maschine in Gang gebracht werden, so drückt man auf die Handhabe des Hebels H, welcher das Schiebventil in Bewegung setzt, um es auf die vier geneigten Ebenen v, v, v, v steigen zu machen, wodurch alle Zugänge dem Dampfe offen stehen, die Zähne des Triebwerkes sind verlängert und hinlänglich tief ausgearbeitet, so daſs das Ventil genug gehoben werden kann. Sind die Räume mit Dampf erfüllt, so legt man das Ventil wieder auf seine Stelle, und läſst das Spiel der Maschine beginnen.

Die Dimensionen dieser Maschine, welche ohngefähr von der Kraft eines Pferdes der Aufgabe nach seyn sollte [1], waren

---

[1] S. die unten folgende Art dieser Berechnung unter *Effect der Dampfmaschinen.* Ihre wirkliche Leistung stimmt nach den dortigen

folgende: Durchmesser des Kolbens $0^m,21$ (7 Z. 10 L.); durchlaufener Raum desselben $= 0^m,48$ (16 Z.), Inhalt des Kessels = 700 Litres (20 Kub. F.), Menge des enthaltenen Wassers 245 Litres (17 Kub. F.), dem Feuer ausgesetzte Fläche $= 2^m,76$ (26 Quad. F.), Oberfläche des Wassers im Kessel $= 1^m,27$ (12 Quad. F.). Sie hob in 12 Stunden 913716 Kilogr. Wasser zu 1^m Höhe mit einem Verbrauche von 144 Kilogr. Steinkohlen von Valenciennes.

Sinnreich ausgedacht ist ferner die durch Perrier vorgeschlagene Maschine, welche dazu dienen soll, überall in Werkstätten aufgestellt zu werden, weswegen sie in jeder, auch nur kleinen Dimension ausführbar und tragbar seyn muſs.[1]

Der Cylinder A liegt horizontal über dem Gefäſse mit kaltem Wasser B, aus welchem das zur Condensirung und zur Speisung des Kessels erforderliche Wasser genommen wird. Die Enden der Kolbenstangen e, t bewegen durch Hebelstangen die Kurbeln der Schwungräder, zugleich aber sind an ihnen die Seile m t und m' r befestigt, welche über das Bogenstück p gezogen, diesem, und hiermit zugleich den Enden des Balanciers x, y eine Bewegung mittheilen, deren ersteres durch die Stange g die Steuerung der Hähnen bewirkt, letzteres durch h den Kolben der Condensationspumpe e bewegt, beide Stangen sind mit doppelten Ketten über den Bogenstücken der Enden des Balanciers befestigt, oder könnten auch durch ein gezahntes Ende vermittelst eines Getriebes nach einer schicklichen Einrichtung gehoben und niedergedrückt werden. Bei d d befindet sich der Condensator, und die sonstige Einrichtung ist wie bei den doppelt wirkenden Dampfmaschinen. Uebrigens hatte schon Smeaton vorgeschlagen, die Dampfmaschinen tragbar zu machen und zur Austrocknung der Sümpfe zu benutzen.[2]

Fig. 140.

Eine besondere Erwähnung verdient ohne Zweifel die von Cartwright vorgeschlagene Maschine,[3] wegen ihres sinnrei-

---

Grundsätzen hiermit nahe überein, ist aber noch etwas gröſser, als er nach jenen seyn muſste.

1 Borgnis Traité complet de Mécanique appliquée aux Arts. Machines hydrauliques Par. 1819. 4. p. 292.

2 Smeaton Reports. Lond. 1797. 4. Partington a. a. O. p. 36.

3 Phil. Mag. I. 1. Repert. of Arts. X. 1. Stuart 155.

chen Baues und ihrer wahrscheinlichen leichten Anwendbarkeit, indem sie ihrer ursprünglichen Bestimmung nach bei Destillirapparaten angebracht [1], und somit der ganze oder mindestens der gröfste Theil des Brennmaterials erspart werden soll. Der Stiefel a a mit dem Embolus b erhält den Dampf durch das Rohr y, welches durch das Ventil r verschlossen wird. Am Embolus befindet sich außer der eigentlichen Stange t noch eine andere, welche den im Cylinder c c beweglichen Embolus d trägt. Durch das Rohr g steht der Cylinder mit dem Condensator in Verbindung, welcher aus dem in kaltem Wasser stehenden hohlen Cylinder f f besteht. Vom Boden des Cylinders c c geht eine Röhre l m in das Gefäfs n, worin sich der Schwimmer o, und an diesem das in die freie Luft ausgehende Ventil p befindet, außer welchem noch eins bei i, desgleichen eins bei k im Embolus b angebracht ist. So wie die Figur es darstellt, befindet sich der Embolus b in herabgehender Bewegung, erzeugt durch den Dampf im Cylinder a a, und so ist auch der Embolus d herabsteigend. Hat der erstere den tiefsten Punct erreicht, so öffnet sich das Ventil k, der Dampf kommt mit dem Condensator in Verbindung, während zugleich das Ventil r niedergedrückt wird, und dem Dampfe den ferneren Zutritt abschneidet, so dafs durch die Wirkung des Schwungrades der Embolus b in dem Cylinder c c ohne Widerstand in die Höhe gehoben werden kann. Zugleich erhebt sich der Embolus d, das Klappenventil i öffnet sich, der condensirte Spiritus dringt durch das Rohr e in den Cylinder c c, bis der Embolus b das Ventil k schliefst, und das Ventil r wieder öffnet, so dafs der Dampf aufs Neue über denselben dringt, und denselben niederdrückt. Indem aber der Embolus d zugleich mit niedergeht, drückt er den durch das Ventil i abgeschlossenen Spiritus durch das Rohr m in das Gefäfs n und durch das Rohr q wieder in den Kessel, oder an den Ort seiner Bestimmung. Sammelt sich aber zu viele Luft im Gefäfse n, so sinkt der Schwimmer o, und sie entweicht durch das Ventil p. Die Art, wie durch die Arme u u, v v, w w und die Rä-

Fig. 141.

1 Dieser nämliche Vorschlag ist neuerdings wiederholt Phil. Tr. CVIII. 393.

der x x die rotirende Bewegung hervorgebracht wurde, gehört unter die sinnreichsten mechanischen Erfindungen.

Die erste Maschine mit *hohem Drucke* (*high pressure engine*) hat Leupold[1] angegeben, und sie ist so einfach, daſs sie einer kurzen Erwähnung nicht unwerth scheint. Zwei Stiefel r und s sind auf dem Gerüste über dem Kessel angebracht, aus welchem ein einziges Rohr beide zu füllen dient. Ein doppelt durchbohrter Hahn k wird allezeit um einen Quadranten umgedrehet, und führt dann den Dampf unter den einen Embolus c, während er unter dem andern d in die freie Luft entweicht. Jeder Embolus treibt eine besondere Stange, und setzt den zugehörigen Hebelarm in Bewegung. Ganz eigentlich ausgeführt wurden die Maschinen mit hohem Drucke aber vorzüglich seit 1802 durch Vivian und Trevittrick, hauptsächlich um den Vorschlag zu realisiren, welchen Robison schon 1759 gethan hatte, nämlich Wagen durch Dampfmaschinen zu bewegen. Obgleich daher das Princip ihrer Dampfmaschinen nicht eigentlich neu genannt werden kann, so berechtigt sie doch die zweckmäſsige Anordnung und die Schönheit aller einzelnen Theile, eine neue Epoche in der Geschichte dieser wichtigen Erfindungen zu bezeichnen[2]. Ueberdem ist der Bau ihrer Maschinen im höchtsen Grade einfach, und die Zeichnung giebt eine genügende Vorstellung derselben. Es ist nämlich a der im Dampfkessel selbst stehende Stiefel, b der Embolus, c das Dampfrohr, welches den Dampf nach der Stellung des Hahns abwechselnd über oder unter den Embolus leitet, je nachdem die Röhre e oder d geöffnet oder geschlossen ist, und durch f f entweicht der Dampf, nachdem er seine Wirkung geleistet hat, in den Camin, der Hahn k endlich wird durch eine, an der Kolbenstange x angebrachte Stange geöffnet und geschlossen. Das Anbringen eines Schwungrades, einer Barometerröhre mit Quecksilber, um die Elasticität des Dampfes zu messen, eines Sicherheitsventils und noch obendrein die Vorsicht, ein Stück eines leichtflüssigen Metalles in den Kessel zu setzen, damit dieses

Fig. 142.

Fig. 143.

1 Theatr. Mach. II. Tab. 30.

2 Stuart a. a. O. p. 163. Partington a. a. O. p. 162. Millington a. a. O. p. 380.

bei zu grofser Hitze schmelzt und das Wasser auslaufen läfst, wurden bei dieser Maschine gleichfalls in Anwendung gebracht. Eine Maschine dieser Art in South Wales hatte einen Cylinder von 8 Z. Durchmesser, dessen Embolus 4 F. durchlief. Sie trieb eine Pumpe von 18,5 Z. Durchmesser, deren Embolus gleichfalls 4 F. Hebung hatte, das Wasser wurde 28 F. gehoben, und die Maschine machte 18 Hübe in einer Minute. Mit 80 ℔. Kohlen in einer Stunde hob also die Maschine 15875160 ℔. Wasser einen Fufs hoch [1]. Genaue vergleichende Versuche mit diesen und den Condensationsmaschinen sind indefs noch nicht angestellt, ohngefähr aber soll nach Stuart bei gleichem Verbrauche von Kohlen jene etwa 0,8 so viel leisten als diese [2], wobei jene indefs auch unter dieser Voraussetzung in dem geringen Raume, den sie einnimmt, und in der Anordnung, dafs man ihre Wirkung nach Erfordern erhöhen oder vermindern kann, grofse Vorzüge darbietet.

Bei den Dampfmaschinen mit hohem Drucke geht also meistens, wie man ersieht, eine Menge Kraft mit dem Entweichen des noch mindestens bis zur Siedehitze heifsen Dampfes verloren. Indefs hat unlängst Oliver Evans in *Philadelphia* Maschinen mit hohem Drucke gebauet, bei denen das aus dem Dampfe condensirte Wasser den Kessel wieder speiset [3], und er ist also hierin seinem neuerdings berühmt gewordenen Landsmanne Perkins vorangegangen.

Am meisten Aufsehen in den neuesten Zeiten hat nämlich die von Perkins erfundene Maschine erregt, deren Erfinder als mechanisches Genie schon früher unter andern durch seinen *Piezometer* [4] und später durch die Erfindung der *Dampfkanonen* bekannt geworden ist. Nachdem schon früher Verschiedenes über dasjenige, was er zu leisten verspreche, für und wider geredet war, erhielt er 1823 ein Patent, und zeigte dann ein Modell, welches von vielen besehen und in seiner Wirksamkeit

---

1 Stuart p. 164.

2 Die Ursache des geringeren Effectes erklärt sich daraus, dafs der Dampf siedendheifs entweicht, und somit die Wärme, welche ihn auf diese Hitze erhebt, ungenützt verloren wird.

3 Gill's Technical Repository. N. XXII. p. 249.

4 S. *Compressionsmaschine für Wasser.*

beobachtet wurde [1]. Eine im Mechanic's Magazine Nro. 3 u. 6 gegebene Zeichnung und Beschreibung [2] liegt bei denjenigen zum Grunde, was auf dem Continente darüber bekannt geworden ist [3], doch sind aufserdem noch verschiedene einzelne Nachrichten mitgetheilt, und alle Beschreibungen stimmen in den Hauptsachen genau mit einander überein [4].

Statt des Dampfkessels hat diese Maschine den sogenannten Dampferzeuger (*generator*) ABCD von Glockenspeise, dessen Wände etwa 3 Z. dick sind, und welcher ohngefähr 8 Gallonen Wasser fafst. Dieser steht lothrecht ganz vom Feuer umgeben in dem Ofen EEEE, welcher möglichst gegen die Ableitung der Wärme und ihren Verlust nach aufsen gesichert ist, und dessen Rauch aus dem nur angedeuteten Schornsteine G entweicht. Das Feuer wird angeblasen und lebhaft brennend erhalten durch den Blasebalg H, welcher die Maschine treibt, und aus welchem das Rohr IK zum Feuer führt. Auf solche Weise erhält das Wasser im Generator zwischen 300° bis 400° F. = 119,°11 bis 163°,5 R. Wärme [5], oder nach andern 162° bis 184° R. [6]. Die- Fig. 144.

1 Lond. Journ. of Arts and Sc. Nro. XXV. p. 36. ebend. V. 201.

2 Stuart a. a. O. p. 205.

3 Ann. C. et Ph. XXII. 429. Bibl. univ. XXIII. 133. XXIV. 66. G. LXXV. 117. In der letzteren Darstellung ist einiges nicht ganz richtig.

4 Eine, angeblich unter den Augen des Erfinders gemachte Zeichnung befindet sich in BREWSTER's Edinb. Journ. of Sc. N. 1. mit Beschreibung p. 146. Sie weicht in einigen nicht sehr wesentlichen Stücken von der hier mitgetheilten ab, indefs sind die Abweichungen dem beabsichtigten Zwecke weit weniger angemessen, als in der hier mitgetheilten. Sie ist ursprünglich entlehnt aus London J. of Arts and Sc. 1824. 1. Daraus in Bibl. Univ. XXV. 182. woraus sie Brewster genommen hat.

5 Diese Angabe ist von Stuart p. 204. Nach der oben mitgetheilten Tabelle gehören hierzu 4,8 und 15 Atmosphären der Elasticität des Dampfes.

6 Edinb. Phil. Journ. a. a. O. und G. a. a. O. Diesen lezteren Temperaturen gehören nach G. G. Schmidt bei G. LXXV. 345. die Elasticitäten von 80 und 78 Atmosphären zu, die Tabelle aber giebt hierfür nur 14,2 und 23,3 Atmosphären. Dafs aber die Schmidtsche Formel mit andern sehr genauen Versuchen, namentlich den Arzbergerschen nicht übereinstimme, ist oben im Art. *Dampf* gezeigt. Indefs beweiset

se Angaben sind indeſs zu geringe, und müssen nach der oben mitgetheilten Tabelle für die Elasticitäten des Wasserdampfes auf 205° R. oder 494° F. erhöhet werden, wenn die Berechnung des Effects der Maschine richtig ist. Im Deckel des Dampferzeugers befinden sich 4 Röhren, deren eine 888 als Sicherheitsventil dient. Sie ist nämlich in der Gegend des sie umgebenden Kastens a b so dünn, daſs sie hier nur den vierten Theil des Druckes auszuhalten vermag, wofür die übrigen Theile der Maschine berechnet und gearbeitet sind, wo sie bei Ueberladung der Ventile, ohne Nachtheil der Umstehenden, wie ein Stück Papier zerreiſst; zugleich führt diese Röhre zu dem eigenen Mechanismus bei v v, welcher darin besteht, daſs der gehobene Zeiger f am Zifferblatte die Zahl der Atmosphären anzeigt, welchen die Spannung des Dampfes gleich kommt. Die zweite Röhre m 555 ist bestimmt, das überflüssige Wasser, wenn der Dampfbereiter überfüllt seyn sollte, oder die zu heiſsen Dämpfe abzuleiten, ohne sie zu verlieren, und dient also gleichfalls als ein Sicherheitsventil. An der Stange u befindet sich nämlich ein stählernes Ventil, welches durch einen Druck von 37 Atmosphären niedergedrückt, aber durch die Gewalt des aus-

---

dieses nichts gegen die Richtigkeit der durch Perkins angestellten Versuche und gegen die Anwendbarkeit seiner Maschine. Einmal weichen nämlich die Angaben der Temperaturen so sehr von einander ab, daſs sie schon deswegen kein Zutrauen verdienen, anderntheils hat Perkins die Temperaturen überall nicht directe gemessen, sondern nur nach Gutdünken angegeben, oder vielmehr nach falschen Grundlagen aus den Elasticitäten berechnet, endlich aber ist es unmöglich, daſs bei der Art der Heizung die Temperatur des Wassers nicht hätte über selbst 164° R. steigen sollen. Ich habe wiederholt die Hitze des Papinischen Digestors so weit getrieben, daſs der unter dem Deckel befindliche Hanf verkohlt war, welches unter dem Schmelzpuncte des Bleies nach Biot = 224° R. nach Prechtl in Jahrb. d. Pol. Inst. I. 200 unter 257° R. nicht geschehen kann, und dann lagen unter dem Topfe nur wenige Kohlen, statt daſs der Generator ganz vom Feuer umgeben ist. Kann der Dampf einmal gar nicht entweichen, so steigt die Hitze leicht zu hohen Graden. Weit wahrscheinlicher ist es aber, daſs Perkins die Elasticität des Dampfes nach den Gewichten, womit seine Ventile beschwert waren, richtig gemessen, als daſs er diese unrichtig bestimmt, die Hitze des Wassers im Generator aber richtig thermometrisch gefunden haben sollte, wozu obendrein gar keine Vorrichtung bei seiner Maschine vorhanden ist.

gedehnden Wassers oder der zu heifsen Dämpfe, wenn diese den angegebenen Druck übersteigt, gehoben wird, so dafs sie in den Behälter S T V X entweichen können. In diesen gehen aufserdem die gebrauchten und bedeutend abgekühlten Dämpfe zurück, und behalten nur eine Spannung von 5 Atmosphären. Steigt ihre Spannung höher, so heben sie das Ventil der Röhre 7777, und entweichen in das Reservoir Z, aus welchem (durch einen in der Zeichnung nicht angegebenen Mechanismus) Wasser in den Behälter getrieben werden kann.

Als ein Hauptbestandtheil der Maschine ist die Compressionspumpe L anzusehen, welche durch den Hebel M bewegt wird, das Wasser aus dem Behälter S T V X durch das Rohr 6 6 6 6 einzieht, und mit einer Kraft von 36 Atmosphären durch das Rohr 4 4 4 4 in den Dampferzeuger drückt, so dafs der Abgang hierdurch stets wieder ersetzt wird. Das stark comprimirte, durch die Hitze in Dampf von einer 35 Atmosphären gleich kommenden Elasticität verwandelte Wasser öffnet dann das Ventil w, und dringt durch das Rohr n 2 2 2 in die, zu gröfserer Deutlichkeit unten abgesondert gezeichnete Maschine, den horizontal liegenden Stiefel P P bewegt der Embolus, und setzt hierdurch vermittelst der Stange Q das Schwungrad R in Bewegung. Die Steuerung der Hähne, welche durch die Stange T geschieht, wird durch das gezahnte Rad N am Schwungrade bewerkstelligt, welches in ein anderes O eingreift, und durch dieses das Rad U bewegt, woran die Steuerungsstange T befestigt ist. Die Bewegung des Embolus war bei den angestellten Versuchen so schnell, dafs er 200 Züge in einer Minute machte. Der Cylinder hielt nur 2 Z. Durchmesser und war 18 Z. lang, die Bewegung des Kolbens betrug 12 Z. Alle Theile der Maschine sind so stark, dafs sie einen Druck von 4000 ℔ gegen einen engl. Quadratzoll aushalten, die Kraft aber, womit sie arbeitet, beträgt nur 500 ℔ gegen einen Quadratzoll, und rechnet man hiervon 70 ℔ für den Druck von 5 Atmosphären ab, welchen der Dampf nach seiner Wirkung noch behält, so bleiben 430 ℔ als wirklich bewegende Kraft übrig. Eine solche Maschine soll so viel leisten, als eine Watt'sche für 10 Pferde, und dabei nur 1 Buschel Kohlen gebrauchen, wenn diese letztere 9 Buschel erfordert. Hierzu käme dann insbesondere noch der geringe Raum, den die Maschine einnimmt, denn die vorgezeigte

bedeckte nur einen Raum von 8 F. Länge und 6 F. Breite, oder nur 48 Quadratschuhe. Das Sicherheitsventil platzt, wenn der Druck bis auf 1000 ℔ gegen einen Quadratzoll, also auf ein Viertheil derjenigen Stärke steigt, welche die Theile der Maschine auszuhalten vermögen [1].

Dieses sind die, gröſstentheils von Augenzeugen der Wirkungen dieser Maschine mitgetheilten Angaben und Beschreibungen. Es läſst sich kaum erwarten, daſs sie nicht richtig beobachtet haben oder getäuscht seyn sollten, in welcher Hinsicht mir vorzüglich das Zeugniſs des sachverständigen, höchst besonnenen und noch obendrein dem ehrwürdigen Watt und seinen Erfindungen mit leidenschaftlicher Vorliebe ergebenen Stuart's entscheidend scheint, welcher die Thatsache selbst in keinen Zweifel stellt, zugleich aber die ganze Erfindung nicht übermäſsig hoch anschlägt. Es heiſst darüber in der Hauptsache [2]: „Perkins *habe im Wesentlichen keine bedeutende Ver-* „*bessrung der Dampfmaschine angegeben, indem seine vorge-* „*zeigte in allen ihren Theilen mit der* Watt'*schen übereinkomme,* „*auch sey die Anwendung des Dampfes von prodigiöser Ela-* „*sticität keine absolute Neuigkeit bei den Dampfapparaten.* „*Aber die Methode der Heizung bei einem solchen Drucke, die* „*einfache und wirksame Weise, den Damf zu erzeugen und* „*festzuhalten, könne allerdings zu den wichtigsten Erfindun-* „*gen der Zeit gehören. Ob aber wirklich so viel an Brennma-* „*terial erspart werde, sey fraglich, doch sey es schon sehr* „*wichtig, auch nur den vierten Theil desselben zu ersparen.*" Das Princip, worauf die Entscheidung über den Vortheil, den diese Maschinen gewähren, beruhet, ist oben gewürdigt [3], über die Berechnung ihres Effectes wird unten noch einiges vorkommen.

Endlich verdient auch noch diejenige Maschine, mindestens des geschichtlichen Interesses wegen, erwähnt zu werden, welche der Graf Bucquoi nach einer sinnreichen Idee bloſs aus Holz zu *Rothhaus* ziemlich im Groſsen wirklich ausführen

1 Die Maschinen werden fabrikmäſsig gemacht bei Mr. Perkins et C. Nro 41. Waterlane, Fleet-Street. London.

2 Stuart a. a. O. p. 206.

3 S. *Dampf; latente Wärme desselben.*

liefs, und sich somit also von der Möglichkeit ihrer Anwendung überzeugte. Der Preis derselben belief sich auf nicht mehr als 700 Gulden, und es könnten daher allerdings Fälle eintreten, wo es nützlich wäre, eine solche zu erbauen. Indem sie aber keine Selbssteuerung hat, und der Natur des Materials nach nicht dauerhaft seyn kann, so wird sie auch schwerlich allgemeiner eingeführt werden. Eine weitere Beschreibung derselben würde indefs aus diesem Grunde und auch deswegen nicht zweckmäfsig seyn, weil der Erfinder selbst gesteht, dafs sie nach einer blofsen Beschreibung selbst mit Hülfe der davon entworfenenen Zeichnungen schwerlich genau ausgeführt werden könnte [1].

Einzelne Theile der Dampfmaschinen.

Ohngeachtet des grofsen Umfanges, wozu dieser Artikel bereits angewachsen ist, mufs doch der Vollständigkeit wegen noch eine kurze Beschreibung der einzelnen Theile und eine Angabe der vorzüglichsten Bedingungen ihrer zweckmäfsigen Construction hinzugefügt werden [2].

1. Der *Heizapparat* erfordert eine vorzügliche Sorgfalt, weil die Consumtion an Brennmaterial diese Maschine hauptsächlich kostbar macht. Es ist daher nothwendig den Heizapparat so einzurichten, dafs das Brennmaterial bei gehörigem Luftzuge leicht und vollständig verbrennt, die erzeugte Wärme dem Dampfkessel vortheilhaft mitgetheilt wird, und nicht zu viel heifse Luft aus dem Schornstein entweicht. Man bringt daher einen Rost an, um das Brennmaterial allgemein

---

1 Beschreibung und Zeichnungen finden sich im Hesperus 1812. N. 76. Vergl. G. XLIII. 102. Beschreibung einer Dampfmaschine u. s. w. vom Gr. von Bucquoi. Prag. 1814. 8.

2 Vergl. im Allgemeinen Prony Neue Arch. Hydr. T. II. Borgnis Traité de Méc. appliquée aux Arts. Par. 1818. Compos. des Mach. Héron de Villefosse de la Richesse minérale. Par. 1819. T. III. Bernoulli Anfangsgr. d. Dampfmaschinenlehre. p. 164. Partington a. a. O. Christian Traité de Mécanique industrielle. III Tom. Par. 1822 bis 25. II. 86 ff. 309 ff. mit sehr schönen Kupfern, der Text weitläuftig. Die *Freundschen* Maschinen in Berlin sind nach allen Theilen beschrieben, und durch zweckmäfsige Zeichnungen erläutert von Brömel bei G. LXVII. 49.

mit der zuströmenden Luft in Berührung zu bringen, und erhöhet den Schornstein, um hierdurch den Luftzug zu vermehren, umgiebt ferner den Heerd mit schlecht wärmeleitenden Substanzen, und läfst die durch das Feuer erhizte Luft und den Rauch von dem Heerde in einem Canale erst wieder mitten durch den Kessel und dann rund um denselben streichen, um dem Kessel möglichst viel Wärme mitzutheilen, ehe sie aus dem Schornsteine entweichen. Das letztere Mittel, welches schon Watt in Anwendung brachte, ist aber nur dann vortheilhaft, wenn der Kessel grofs ist und die Canäle hinlänglich weit seyn können, um den erforderlichen Luftzug und das vollständige Verbrennen des Feuermaterials nicht zu hindern. Eine zweckmäfsige, durch Mathiew Murray aus *Leeds* 1799 zuerst angegebene Einrichtung [1] ist das Register des Feuerheerds, ein Schieber, welcher von selbst herabsinkt und den frischen Luftzug, somit also auch das rasche Brennen des Feuers hindert, wenn die Elasticität des Dampfes zu stark wird. Man erhält die Selbststeuerung dieses Registers durch verschiedene Mittel, unter andern durch einen Embolus in einem mit dem Kessel verbundenen Stiefel, welcher durch die vermehrte Elasticität des Dampfes gehoben wird, und den mit ihm verbundenen Schieber sinken läfst. Bei Maschinen von niedriger Pressung kann zur Vermeidung der Reibung statt des Embolus ein blofser Schwimmer in einer Röhre gewählt werden, welche im Kessel herabgeht, und mit dem durch den Druck des Dampfes gehobenen Wasser gefüllt ist. Dafs man übrigens die allgemein bekannten Mittel einer vortheilhaften Heizung auch hierbei anwenden müsse, versteht sich wohl von selbst, auch hat man des vielen Rauches wegen fast allgemein die rauchverzehrenden Apparate angebracht, welche schon von Watt vorgeschlagen wurden [2], durch Borgnis [3] u. a. aber ausführlich beschrieben sind. Im Allgemeinen besteht ihre Einrichtung darin, dafs man den Rauch wieder zu einer Feuerstelle leitet, wo derselbe verbrennt, durch Zuglöcher mehr frische Luft zuleitet u. dgl.

---

1 Stuart a. a. O. p. 159.

2 Repertory of Arts. IV. Journ. des Mines. An. X.

3 Traité de Méc. Compos. des Mach. p. 136.

m.[1] Ein ganz eigener Vorschlag von W. Congreve aber verdient noch erwähnt zu werden. Er will nämlich gefunden haben, daſs rohe Kalksteine, den Kohlen beigemischt, die Heizkraft derselben bedeutend vermehren [2], und indem man denselben auf diese Weise gebrannt wieder erhält, könnte ein beträchtlicher Theil der Kosten erspart werden.

2. *Dampfkessel* werden meistens aus Eisen verfertigt, auf Schiffen aus Kupfer, weil dieses vom Seewasser weniger angegriffen wird, sonst aber sind sie zu kostbar. Man versuchte auch die schon seit den ältesten Zeiten bekannten hölzernen Dampfkessel anzuwenden, namentlich geschah dieses durch Watt und Brindley [3], Droz, Oreilly [4] u. a., allein sie sind zu wenig dauerhaft und selten dampfdicht. Brindley verfertigte auch steinerne, worin das Wasser durch eiserne Röhren erhitzt wurde [5]. Am meisten werden sie aus Blechtafeln mit starken Nägeln zusammengeniethet, und wählt man die Dicke der Tafeln am Deckel gewöhnlich 2 bis 4 Lin. am Boden dagegen 5 bis 7 Lin. Ihre Form ist zwar willkürlich, indeſs sind sie meistens oben gewölbt, an den Seiten und am Boden aber einwärts gebogen, und entweder inwendig durch eiserne Stangen zusammengehalten, oder man läſst diese weg, damit bei übermäſsiger Elasticität des Dampfes das Ausbiegen derselben ein Getöse verursacht, und vor der Gefahr warnt. Zum Kitte zwischen die Fugen nimmt man meistens 16 Th. Eisenfeile, 2 Th. Salmiak und 1 Th. Schwefel, welche fein gepulvert, trokken gemengt und aufbewahrt vor dem Auftragen befeuchtet werden, dann aber bald erhärten [6]. Dieser Kitt ist indeſs bloſs bei solchen Fugen anwendbar, welche nicht wieder geöffnet werden sollen. Für die übrigen Fugen bedient man sich locker gesponnenen Hanfgarns, welches man in eine der Fuge angemessene Flechte zusammenwickelt, und mit einem Gemenge

Fig. 145.

---

1 Partington a. a. O. p. 188.

2 S. Prechtl in Jahrbücher des polyt. Inst. zu Wien. 1825. VI. p. 189 ff.

3 Rees Cyclop. Art. Steam Engine. Stuart a. a. O. p. 158.

4 Borgnis Traité de Méc. Comp. des Mach. p. 144.

5 Vergl. Nicholson's J. VIII. 169. G. XXIII. 91.

6 Partington a. a. O. p. 167.

von Leinölfirnifs, Bleiweifs und vielem Mennig überzieht. Man nennt diesen schlechtweg Gaskitt [1]. Der Inhalt des Kessels mufs im Mittel 30 bis 36 mal so grofs als der des Stiefels und dieser Raum etwa 0,6 mit Wasser erfüllt seyn. Die Gröfse des Kessels kommt in sofern sehr in Betrachtung, als er dem Feuer eine hinlängliche Berührungsfläche darbieten mufs, um die erforderliche Menge Dampf zu erzeugen. Nach genauen Versuchen von Prechtl [2] liefert eine Fläche von 5 Quadratfufs in einer Secunde einen Kubikf. Dampf als Maximum, und um daher in der Ausführung sicher zu gehen, soll man 20 Quadratfufs annehmen [3]. Auf 1 Pferdeskraft rechnet man ferner in 1 Sec. 0,5 Kub. F. Dampf, und man mufs daher die Zahl der Pferdekräfte mit 10 multipliciren, um die Fläche zu finden, welche der Kessel dem Feuer darbietet, welches also für eine Maschine von 10 Pferdeskräften 100, und von 20 Pferdeskräften 200 Quadratfufs dem Feuer ausgesetzte Fläche erforderte [4]. Man vereinigt daher bei grofsen Maschinen mehrere Kessel, z. B. bei der zu Cornwallis sogar 6, wovon stets 3 bis 4 gebraucht werden, während man die andern reinigt. Viele Kessel sind von Gufseisen, und bestehen aus einem hohlen Cylinder mit zwei halbkugelförmigen Endstücken. Woolf bedient sich eines eisernen cylindrischen Kessels mit 2 oder 3 Röhren, welche fast parallel unter dem Kessel hinlaufend mit den Ohren h, h

Fig. 146.

1 Millington Grundrifs. p. 382.

2 G. LXXVI. 219.

3 S. ebend. Vergl. derselbe im Jahrb. des polyt. Inst. I. 127. wo diese Gröfse aus den Versuchen von Clément in Uebereinstimmung mit denen von Dalton gefolgert wird. Indefs ist diese Annahme wohl etwas zu grofs, insbesondere wenn man berücksichtigt, dafs in der Fabrik zu *Polton* nur 5 Quad. F. auf 1 Pferdeskraft gerechnet werden. S. Bullet. de la Soc. d'Enc. 1822.

4 Andere Angaben, welche fast sämmtlich gröfser sind, S. Bernoulli Anfangsgr. d. Dampfmaschinenlehre p. 137. Die Oberfläche des Wassers im Kessel bestimmt Millington a. a. O. p. 313. für 20 Pferdekr. zu 90 Quad. F. für 15 Pferdekr. zu 60 Q. F. und für 80 Pferdek. zu 360 Q. F. Nach diesen Grundsätzen bestreitet Prechtl bei G. LXXVI. 227. die Möglichkeit des angegebenen Effectes der Perkins'schen Dampfmaschinen. Indefs fragt sich, welchen Einflufs der individuelle Bau des Dampferzeugers bei derselben, und die Art der Heizung desselben haben.

aufliegend überall vom Feuer bestrichen werden. Sie haben an einem Ende einen fest eingekitteten Keil, am andern eine vorgeschrobene Platte m m, welche abgenommen und somit die Röhren gereinigt werden können. Das Wasser wird in den Kessel gepreſst, und die Einrichtung ist gewiſs sehr vortheilhaft [1].

Sonst bestehen die von Woolf gebrauchten Dampferzeuger auch aus 6 bis 8 Röhren, welche quer unter einem dicken eisernen Kessel liegend diesem den Dampf zuführen. Es ist dann A die Oeffnung, in welche das Wasser vermittelst einer Pumpe gepreſst wird, B enthält das Sicherheitsventil, C ist das Loch zum Hineinkriechen, um den Kessel zu reinigen (*Man-hole*) und D die Oeffnung, durch welche der Dampf zum Stiefel gelangt. Diese Art wird vorzugsweise bei gröſseren Maschinen mit hohem Drucke gebraucht [2]. Henschel bemerkt gegen diese Röhren, daſs sie durch den ungleichen Angriff des Feuers ungleich ausgedehnt werden, und sich daher biegen, und schlägt daher lothrecht herabgehende vor [3]. Allein jenes Argument ist nicht von Bedeutung wenn man berücksichtigt, daſs das enthaltene Wasser die Wärme überall ziemlich gleichförmig verbreitet. Nach der neuesten amerikanischen Einrichtung besteht der Dampferzeuger aus einer einzigen, 100 F. langen, 0,5 Z. im Durchmesser haltenden, zur Gestalt eines abgekürzten Kegels von unten 20 Z. oben 10 Z. Durchmesser gewundenen Röhre, in welche das Wasser oben hineinläuft, und während es durch ihre ganze Länge flieſst, sich in Dampf verwandelt. Der so gebildete Dampf tritt dann aus dem unteren Ende der Röhre in eine eigene Dampfkammer, und wird von hieraus benutzt, die gewundene Röhre selbst ist in den Ofen eingemauert, und giebt keine Gefahr beim Zerspringen, indem sie bei ihrer Dünne bloſs zerreiſst, und das Wasser auslaufen läſst, wodurch das Feuer verlöſcht. Dennoch gewährt sie den Versuchen nach eine Spannung von 90 bis 100 ℔ und darüber gegen einen Quadratzoll Fläche [4].

Fig. 147.

---

1 Phil. Mag. XIX. 133.

2 Partington a. a. O. p. 167. Phil. Mag. XVII. 40. ebend. XLVI. Daraus bei G. LIV. 147.

3 G. LXI. 408.

4 Nach der Beschreibung der Perkins'schen Dampfmaschinen in Bd. II.

Die Kessel setzen aus dem Wasser stets Pfannenstein an, die Flächen werden dadurch schlechtere Wärmeleiter, und müssen zuweilen gereinigt werden. Man verhütet dieses grofsentheils dadurch, dafs man beim Anfüllen derselben etwas Kartoffeln oder beim Malzen der Gerste gebildete Wurzelfasern mit hineinschüttet, welche sich in einen Schleim auflösen, und das Ansetzen des Pfannensteins verhindern. Dennoch hat jeder Kessel eine Oeffnung (trou d'homme, *man-hole*), in welche man zum Reinigen desselben steigt, doch sollte man zuvor erst die Luft in demselben mit einem Blasebalge erneuern, da sich oft eine explodirende Gasart (wahrscheinlich aus dem durch das Eisen zersetzten Wasser) oder Stickgas (durch den angewandten Kitt) in demselben erzeugt.

Indem das Wasser im Kessel stets vermindert wird, so mufs es fortwährend durch neues ersetzt werden. Vor allen Dingen ist daher erforderlich, die Wasserhöhe im Kessel zu kennen. Am einfachsten geschieht dieses durch die ungleich tief herabgehenden Röhren c c welche auch seitwärts am Kessel angebracht werden können, und nach dem Oeffnen der Hahnen durch das Ausströmen von Wasser oder Dampf das Maximum und Minimum des Wasserstandes angeben. Andere Vorschläge können um so leichter übergangen werden, als sie nur bei Maschinen von niedrigem Drucke anwendbar sind, wobei sie durch die Art der Füllung ohnehin überflüssig werden. Man bringt nämlich im Kessel die beiden Schwimmer a a an, welche entweder aus hohlen kupfernen Behältern bestehen, oder aus Steinen, in welchem letzteren Falle sie durch ein Gegengewicht balancirt sind. Sinkt das Wasser, so sinken auch die Schwimmer, drücken die Stange c c und damit zugleich den Hebelarm o herab, dessen Stange in dem hinlänglich hohen Rohre b b herabgeht, es hebt sich der andere Hebelarm d, wodurch das Ventil e geöffnet wird, und das schon erwärmte Wasser aus dem Behälter g durch die Röhre f in den Kessel gelangt. Noch einfacher würde folgende Vorrichtung seyn. Die Röhre a b

Fig. 133.

Fig. 148.

Fig. 149.

Brewster's Edinb. Journ. of Sc. N. 1. p. 146. ist das Rohr, welches das Wasser dem Dampferzeuger wieder zuführt, verschiedenemale um den Herd gewunden. Vielleicht ist die Darstellung nicht völlig genau, und findet dabei die nämliche Einrichtung statt.

führt aus dem Behälter R in den Kessel. Bei d ist ein Hahn, welchen der Schwimmer s beim Herabsinken öffnet und dadurch dem Wasser den Zutritt in den Kessel verschafft, beim Steigen aber verschliefst. Für Maschinen von hohem Drucke sind eigene Compressionspumpen erforderlich, welche gleichfalls nach dem Wasserstande regulirt werden.

Der Sicherheit wegen wird jeder Kessel vorher probirt, indem man alle Oeffnungen desselben verschliefst, das Ventil mit dem 4 bis 10 fachen Gewichte belastet, womit es gewöhnlich belastet werden soll, und dann so lange heizt, bis das Ventil aufgeschlagen wird. Die Stärke des Dampfes wird dann nach WATT vermittelst eines Manometers gemessen, welcher bei Maschinen von geringem Drucke aus einer krummgebogenen gläsernen oder eisernen Röhre bestehen kann, deren eines Ende a mit irgend einem Theile des Dampfapparats verbunden wird, während das andere b frei ist. Auf dem Quecksilber dieser Röhre schwimmt der Schwimmer d mit der Stange e, deren Höhe die Elasticität des Dampfes in Zollen der Quecksilberhöhe über dem atmosphärischen Drucke angiebt [1]. Bei Maschinen mit hohem Drucke wählt man die andere Art der Messung, nämlich eine Glasröhre in einem Gefäfse mit Quecksilber, welches die in der Röhre befindliche Luft comprimirt, so dafs man aus dem Raume nach dem Mariotteschen Gesetze die Elasticität berechnen kann. Dafs die Maschinen von niedrigem Drucke auf keine Weise der Gefahr ausgesetzt sind, durch die übergrofse Elasticität des Wasserdampfes zersprengt zu werden, geht aus der mitgetheilten Beschreibung von selbst hervor, denn schon durch das eben angegebene Manometer würde der Dampf nach dem Herauswerfen des Quecksilbers und des Schwimmers entweichen, ehe die Elasticität desselben den doppelten Druck der Atmosphäre erreichte. Indefs müssen dennoch bei allen Maschinen, indem sie fast ausschliefslich unter obrigkeitlicher Controle stehen, ein oder mehrere Sicherheitsventile (Soupapes de sûreté, *safety valves*) angebracht werden [2]. Sie bestehen im Allgemeinen aus einer Klappe, welche eine Oeffnung von bestimmter Gröfse auf der Oberfläche des Kessels ver-

Fig. 150.

1 Partington a. a. O. p. 130.
2 Dupin Rapport. cet. sect. 2.

schliefst, und entweder durch ein aufgelegtes Gewicht, oder vermittelst eines Hebelarms mit der erforderlichen Kraft niedergedrückt wird. Diese letztere Art (*steelyard valve*) ist am gebräuchlichsten. Die Klappe a drückt gegen die Oeffnung und wird selbst durch die Stange d niedergedrückt, welche aber bei α in einem Scharniere leicht beweglich seyn mufs, damit die flach ausgeschliffene Platte nicht schief zu liegen kommt, und genau schliefst, das Gewicht c aber wird auf der Stange näher oder weiter gerückt, je nachdem die Elasticität des Dampfes stärker seyn soll, welcher, über die bestimmte Stärke hinausgehend, das Ventil aufschlägt und entweicht. Weil diese Ventile indefs leicht durch aufgelegte gröfsere Gewichte überladen werden können, so wählt man gern diejenigen, wozu niemand, als der Besitzer der Maschine, oder eine sonstige besonnene Person kommen kann. Sie bestehen gleichfalls aus der Platte a, welche auf eine Oeffnung im Kessel aufgeschliffen, und vermittelst der Stange c mit mehr oder wenigern Bleigewichten $\alpha\ \alpha$, $\alpha\ \alpha$ .... beschwert ist. Ueber das Ganze ist die durchlöcherte Haube A B so geschroben, dafs sie ohne den erforderlichen Schlüssel nicht abgeschroben werden kann[1]. Zu noch gröfserer Sicherheit hat man auch vorgeschlagen, einige Löcher im Boden des Kessels mit einem Metallgemische auszugiefsen, welches einige Grade über derjenigen Hitze schmilzt, die der Dampf erhalten soll, worauf dann das Wasser auslaufen und zugleich das Feuer auslöschen würde[2]. Indefs ist dieses letztere Hülfsmittel überflüssig, indem noch alle Erfahrungen bewiesen haben, dafs die durch Zerplatzen der Dampfkessel herbeigeführten Unglücksfälle Folgen der unverzeihlichsten Nachlässigkeit und Unbesonnenheit waren, und daher den Maschinen selbst nicht zur Last fallen können[3]. Nothwendig ist aber aufserdem ein nach Innen sich öffnendes Ventil, welches der äufseren Luft den Zutritt in den Kessel verschafft, sobald die Heizung desselben aufhört, und der Dampf im Innern niedergeschlagen wird[4].

Fig. 151.

Fig. 152.

1 Partington a. a. O. p. 140.

2 Angaben zu solchen Mischungen finden sich von Prechtl in Jahrb. d. polyt. Inst. I. 197.

3 Partington a. a. O. 121. C. Dupin Rapport sur les Machines à vapeur. Par. 1823. 8. Morestier Mémoire cet. p. 105.

4 Partington. p. 143.

Eckenkranz [1] hat eine Vorrichtung angegeben, wodurch beide Ventile vereinigt werden. Nach ihm besteht die Scheibe des eben beschriebenen Sicherungsventils aus einem Stücke eines in den Kessel geschliffenen Konus, besser aber ist es gewiſs, dasselbe flach zu machen, weil, wie er selbst sagt, solche Flächen sich leicht sehr genau auf einander schleifen lassen. Diese Platte A ist mit vier Löchern β, β, β, β durchbohrt, und unter derselben liegt eine andere, genau auf dieselbe geschliffene Platte α α, welche durch den Dampf und zugleich durch die Feder δ angedrückt wird. Entsteht aber im Kessel ein leerer Raum, so drückt die Luft die Scheibe α α nieder, und dringt in den Kessel.

Fig. 153.

Wie groſs das Gewicht seyn müsse, womit ein Ventil zu belasten sey, ergiebt sich sehr einfach. Will man nämlich Dampf von der Siedehitze, oder von einfachem atmosphärischen Drucke, so muſs die Scheibe gar nicht belastet werden. Für jeden höheren Druck, wenn man ihr eigenes Gewicht als unbedeutend vernachlässigt, läſst sich indeſs das erforderliche Auflegegewicht leicht finden, wenn man berücksichtigt, daſs die Luft gegen die Fläche eines Par. Quadratzolles mit einer Kraft im Mittel von fast 15 ℔ Markgewicht drückt [2], also für einen Zoll Quecksilberhöhe mit nahe 16 Lt. Ist also der Flächeninhalt der Oeffnung im Kessel = m Quadratzolle, und soll die Elasticität des Dampfes über den atmosphärischen Druck n Zolle Quecksilberhöhe betragen, so ist die Summe der aufzulegenden Gewichte = n m 16 Lt.

8. Der *Dampfcylinder* ist in der Regel von Guſseisen, und Watt's Versuch, ihn der schlechteren Wärmeleitung wegen von Holz zu machen [3], ist wohl später als Vorschlag wiederholt, aber nie auf die Dauer ausgeführt. Genaue Bohrung, gleichmäſsige Weite und ebene Polirung sind Haupterfordernisse desselben. Oben und unten ist ein starkes Deckelstück angeschroben, und das untere dient zugleich, den Cylinder oder Stiefel möglichst fest auf dem Boden zu befestigen. Ein wesentliches Stück aber ist der Mantel, ein gröſserer Cy-

1 Aus Memoirs of the Soc. of Arts bei G. XXII. p. 124.

2 S. Th. I. p. 262.

3 Rees Cyclop. Art. Steam-Engine.

linder, welcher den Stiefel umgiebt, und um denselben stets hinlänglich heiſs zu erhalten, ganz mit Dampf erfüllt ist, wobei das aus demselben niedergeschlagene Wasser meistens durch ein aus dem Boden desselben in den Kessel herabgehendes Rohr wieder zurückläuft, welches bei der gleichen Elasticität des Dampfes in beiden Räumen nicht schwierig ist. Bloſs bei kleinen Maschinen, wobei die Erschütterung nicht so stark ist, kann der Stiefel in oder auf den Dampfkessel gesetzt werden.

4. Der *Embolus*, oder Dampfkolben würde dann zur Vollkommenheit gebracht seyn, wenn er bei möglichst geringer Reibung gar keinen Dampf verbeiließe, allein dieses wird schwerlich jemals erreicht werden, und man muſs daher diesen Verlust jederzeit mit in Rechnung bringen, welcher bei Maschinen von hohem Drucke vorzüglich bedeutend ist, indem ein dampfdichtes Schlieſsen nur durch zu groſse Reibung vermieden werden kann. Ehemals und auch noch jetzt bei Maschinen von niederem Drucke bestand der Embolus aus zwei Metallscheiben mit zwischenliegendem geflochtenen Hanfe, welcher mit Fett getränkt und durch Schrauben zwischen den beiden Platten fest gepreſst wurde. Gegenwärtig bedient man sich indeſs weit häufiger der metallenen Linderung, wozu eine groſse Menge Vorschläge gemacht sind. Die ersten dieser Art wurden von Cartwright verfertigt, und bestanden statt des Hanfes aus drei in Sectoren von 120° zerschnittenen Kreisflächen, welche durch Federn von Innen nach Auſsen gedrückt wurden, und indem ihre Schnitte nicht über einander lagen, so schlossen sie überall an die Wände des Stiefels, und bei längerem Gebrauche stets dichter an [1]. Statt der Sectoren nimmt Fig. 154. Browne Kreissegmente a a a von 120°, welche durch zwischenliegende Keile b b b und diese durch die Federn e e e aus einander getrieben werden [2]. Vor Kurzem hat Jessop vorgeschlagen, den Hanf des Embolus mit einem wie eine Drahtfeder schraubenförmig gewundenen Metallstreifen zu umgeben, welcher durch seine eigene Elasticität an die Wände des Cylinders angedrückt wird [3]. An dem Kolben befindet sich die Stange,

---

1 Repertory XIV. 381. Nicholson J. II. 364. Ph. Mag. II. 221.
2 Evans a. a. O. p. 156.
3 Repertory 1822. Oct. Daraus in Dingler's Polyt. J. 1823. Sept.

welche dampfdicht durch eine im Deckel befindliche, mit Hanf und Fett gefüllte, Stopfbüchse geht; letztere aber kann etwas aufgeschroben werden, damit bei der Condensirung über dem Embolus durch den äufsern Luftdruck etwas Fett zum Schmieren des Embolus eindringt, oder es ist zu diesem Ende ein eigener Schmierhahn angebracht. Damit endlich die Stange des Embolus sich stets in verticaler Richtung bewegt, dient das von Watt erfundene Parallelogramm h h, dessen Wirkung aus der Figur deutlich ist. Fig. 136.

5. Das *Dampfrohr* leitet den Dampf aus dem Kessel in den Stiefel. Indem aber die Bereitung des Dampfes vielfachen, kaum bestimmbaren, Bedingungen unterliegt, und somit ein gleichmäfsiger Gang der Maschine nicht erreichbar ist, so erfand Watt[1] den *Moderator*, *Regulator* P (*conical pendulum*, *governor*), zwei Kugeln *α α*, welche an einer um ihre Axe laufenden Spindel befestigt sind, durch schnellere Bewegung sich weiter von der Spindel entfernen, und dadurch die oben mit ihnen verbundenen Hebelarme herabziehen, durch welche dann ein im Dampfrohre befindlicher Hahn mehr geschlossen wird, so dafs weniger Dampf ausströmen kann. Man hat später diesen Regulator bei vielen Maschinen in Anwendung gebracht. Fig. 136.

6. Ein wesentlicher Theil der Dampfmaschinen ist ferner die *Steuerung*. Hierzu gehören vor allen Dingen die Hahnen und verschiedenen Ventile. Von den ersteren mögen hier nur die gewöhnlichen mit zwei Oeffnungen *α*, *α* erwähnt werden, wobei aus der Zeichnung selbst hervorgeht, wie das abwechselnde Spiel derselben den Dampf über oder unter den Embolus und nachher in den Condensator leitet. Beide können in einen, den von Leupold angegebenen mit 4 Oeffnungen (*fourway cock*) vereinigt werden, dessen man sich meistens bei den Maschinen auf Dampfschiffen bedient, indem hierbei der gebrauchte Dampf in den Schornstein geleitet wird. Man findet es besser, um das ungleiche Abschleifen zu verhüten, ihn stets rundum, statt wieder rückwärts zu drehen, eine von Bramah erfundene Vebesserung[2]. Für die Expansionsma- Fig. 155. Fig. 142.

---

1 Stuart a. a. O. 133.

2 Repertory of Arts. XV. Vergl. Millington a. a. O. p. 374.

schinen hat FREUND [1] noch einen Hahn (*Sparhahn*) angebracht, welcher den Zutritt des Dampfes abschneidet, wenn der Embolus den erforderlichen Raum durchlaufen hat, und der Dampf sich dann weiter im Stiefel expandiren soll. Unter den sonstigen Ventilen verdient noch das konische, durch ein gezahntes Getriebe bewegte, und das Schiebventil (*Schiebladenventil Sliding valve*) als vorzüglich brauchbar eine nähere Berücksichtigung, welche beide durch dampfdicht in Stopfbüchsen gehende Stangen geöffnet und geschlossen werden können [2]. Das Oeffnen und Schliefsen dieser Ventile geschieht durch geeignete Stangen, welche in der Regel an dem Balanciere der Maschinen angebracht sind, zum Theil auf diejenige Weise, welche in den Figuren der verschiedenen Maschinen angedeutet ist.

Fig. 156. und 157.

7. *Condensatoren* sind kein unentbehrlicher Theil der Dampfmaschinen, werden auch auf Schiffen und bei den meisten mit hohem Drucke arbeitenden Maschinen nicht gebraucht, und sind insbesondere bei den letzteren dann entbehrlich, wenn der benutzte Dampf noch ferner z. B. zum Erwärmen von Zimmern, Trockenstuben u. dgl. verwandt werden soll. Es ist dieses in sofern vortheilhaft, als hierdurch diejenige Kraft erspart wird, welche sonst zur Bewegung der Condensationspumpe verwandt werden mufs, zugleich aber verliert man nahe einen ganzen atmosphärischen Druck. Die ältere Art der Condensation vermittelst eingespritzten Wassers wird gegenwärtig bei neuen Maschinen nicht mehr angewandt, indem man vielmehr den Stiefel möglichst warm zu erhalten sucht. Es wird daher genügen, nur einige Condensationsarten hier zu erwähnen.

Eine einfache Condensation findet schon dadurch statt, wenn man den Dampf unter oder über dem Kolben durch ein tief genug herabgehendes Rohr in einen mit kaltem, stets wieder erneuertem Wasser umgebenen Behälter leitet, worin die Dämpfe niedergeschlagen werden, und welcher dann zur Speisung des Kessels sowohl erwärmtes, als auch reines und keinen

1 G. LXVII. 49.

2 Ueber die zahlreichen Abänderungen dieser und anderer Ventile ist nachzusehen BERNOULLI a. a. O. p. 175 ff. Ueber MURDOCK's Ventil S. Repertory of Arts. XIII.

Pfannenstein absetzendes Wasser liefert. Einer solchen Condensirung bediente sich unter andern Freund, indem er den Dampf durch ein viermal gebogenes, 48 F. langes, in einem mit kaltem Wasser gefüllten Behälter befindliches Rohr in ein Gefäſs leitete, aus welchem es wieder in den Kessel gepumpt wurde. Das Wasser in dem Behälter wurde durch eine eigene Pumpe stets erneuert, während das erwärmte oben abfloſs. Daſs hierbei allezeit etwas Wasser verloren wird, und daher durch neues vermittelst eines geeigneten Mechanismus ersetzt werden muſs, liegt in der Natur der Sache, und ist es durchaus nicht schwierig, einen solchen erforderlichen Falls aufzufinden. Eine eigene sinnreiche Art der Condensirung ist die von Cartwright angegebene, welche aus der Zeichnung genugsam klar und oben näher beschrieben ist. Die gewöhnlichen Condensatoren der späteren Watt'schen Dampfmaschinen bestehen übrigens in der Hauptsache aus der Pumpe S, welche sowohl das Wasser als auch die etwa in den Stiefel gekommene Luft wegschafft, und deren Mechanismus oben beschrieben ist. Fig. 141. Fig. 136.

Zuweilen ist der Condensator nicht bloſs von stets zufliessendem kalten Wasser umgeben, sondern es wird auch in das Condensationsrohr fortwährend kaltes Wasser eingespritzt, und durch die Condensationspumpe wieder abgeführt, was durch einen einfachen Mechanismus leicht erreichbar ist[1]. An den Condensatoren pflegt man eine Barometerprobe anzubringen, um aus dem Stande derselben, verglichen mit dem eines gewöhnlichen Barometers, den Grad der Condensirung, und also die Wirksamkeit der Maschine zu erkennen[2].

8. Der *Balancier* oder Baum (*beam*) wird in der Regel von Guſseisen gemacht, wobei aber vorzüglich auf eine geringere Sprödigkeit und Brüchigkeit desselben zu sehen ist. Als Probe schlägt man mit einem Hammer gegen eine Ecke desselben, und wenn diese einen Eindruck erhält, als wäre sie malleabel, so ist das Eisen gut, springen aber Splittern ab, so ist es hart und brüchig[3]. Die Form desselben wird zur

---

1 Eine solche zweckmäſsige Vorrichtung beschreibt Nicholson Journ. V. 147. G. XXIII. 85.

2 Partington a. a. O. 159.

3 Tredgold on cast Iron. p. 7.

Verhütung eines zu grofsen Gewichtes so gewählt, dafs er in der Mitte die doppelte Höhe als an den Enden hat, indem er zu gröfserer Stärke höher als breit seyn mufs, und aufserdem kann man zur Verminderung seines Gewichtes ihn durchbrochen verfertigen. Zur Berechnung seiner Dimensionen dienen die im Artikel Cohäsion gegebenen Formeln [1]. Bei einigen Maschinen fehlt der Balancier, indem eine Stange von der Kolbenstange herabgehend die Kurbel unmittelbar bewegt, wodurch sie compendiöser und daher tragbar werden, wie unter andern bei den durch Maudslay [2] verfertigten, worauf er 1807 ein Patent erhielt, bei denen des Bürgers Le Droz, welche schon seit längerer Zeit in Frankreich und Deutschland bekannt sind [3], und bei der, worauf Egell ein Patent erhielt [4], deren sinnreicher Mechanismus aus dem lothrecht gezeichneten Durchschnitte leicht erkannt wird, worin A der Stiefel, a die Kolbenstange und K K das unmittelbar bewegte Schwungrad vorstellen.

Fig. 158.

Dafs die auf die Bewegung der Kurbel verwandte Kraft nicht stets in ihrem Maximo benutzt werde, sondern dieses nur dann statt finde, wenn die Stange mit der Kurbel einen Winkel von 90 Graden bildet, ist einleuchtend [5]. Es ist daher ein sinnreicher und allerdings weiter zu verfolgender Gedanke, dafs Henschel [6] die Kurbel, das Parallelogramm und selbst den Balancier entbehrlich machte, indem er die gezahnte Kolbenstange unmittelbar auf zwei gezahnte Räder wirken liefs, welche nach einer Seite hin durch Eingreifen in ein anderes ihnen anliegendes Rad dieses letztere umdreheten, nach der andern aber ohne merkliche Reibung auf ihrer Axe ohne Wirkung herum-

1 S. *Cohäsion, relative Festigkeit.*

2 Beschrieben bei Borgnis a. a. O. p. 118. Schön gezeichnet ist sie bei Partington Pl. VI, hat aber sonst nichts ausgezeichnet Eigenthümliches.

3 Bulletin des Sciences. An. V. daraus bei G. XVI. 356.

4 London Journ. of Arts and Sc. 1823. Nov. p. 232.

5 Eine gehaltreiche Abhandlung über die Wirkung der Kurbel bei Dampfmaschinen von Arzberger findet man in Jahrb. d. Pol. Instit. III. 70.

6 G. LXI. 412.

gedrehet wurden, ein leicht auf verschiedene Weise einzurichtender Mechanismus.

Am Balanciere brachte WATT noch einen eigenen Apparat an, den *Zähler* (*counter*), eine Vorrichtung, vermittelst welcher der Balancier bei jedem Niedergange einen Zahn weiter schiebt, so daſs man nach einer gegebenen Zeit die Zahl der Hebungen wissen kann. Indem man nachher dieses Register mit dem Durchmesser des Kolbens und dem Raume vergleicht, welchen er bei jeder Bewegung durchläuft, erhält man die Wirksamkeit der Maschine [1]. Man hat seitdem solche Zähler bei vielen Maschinen angebracht.

9. Das *Schwungrad* war eine vorzügliche Vervollkommnung des Mechanismus der Dampfmaschinen, welche ihnen durch WATT zu Theil wurde, und sie für alle möglichen Arten der Maschinerie brauchbar machte. Es wird durch die Kurbel in Bewegung gesetzt, welche die halbe Länge des Kolbenhubes bei gleicharmigen Balancieren haben muſs, und ist meistens von einem ganz auſserordentlichen Gewichte, bei den groſsen Maschinen an 20000 ℔ schwer, wird aus mehreren Stücken, namentlich der Ring, aus 6 Stücken von Eisen gegossen, und diese werden durch eiserne Schrauben vereinigt. Die Arbeit desselben muſs genau und gut seyn, weil sich ein Punct seines Randes oft mit mehr als 300 F. Geschwindigkeit in einer Sec. bewegt, und eben daher sind die Speichen an den Seiten scharf zulaufend, um die Luft mit geringerem Widerstande zu durchschneiden. Um das erforderliche Gewicht desselben zu bestimmen [2] wird nach MURRAY und WOOD die Zahl der Pferde, deren Kraft durch die Maschine ersetzt werden soll, mit 2000 multiplicirt und durch das Quadrat der Geschwindigkeit seiner Peripherie dividirt. Es sey daher das Gewicht $= P$ zu suchen, der Durchmesser $= 18$ F. mithin die Peripherie $= 56$ F. Bei 22 Umläufen in einer Minute durch-

1 Partington. a. a. O. p. 182.

2 Theoretische Untersuchungen und Berechnungen des Schwungrades finden sich bei BORGNIS Théorie de la Mécanique usuelle. Par. 1821. 4. p. 306.

läuft ein Punct desselben in 1 Sec. $\frac{1232}{60} = 20,5 \ldots$ F., also ist für eine Maschine von 20 Pferden

$$P = \frac{20 \times 2000}{20,5 \ldots} = 90,4 \text{ Ctn.}$$ [1]

Effect der Dampfmaschine [2].

Um die Wirkung einer Dampfmaschine zu bestimmen, berechnet man diese nach Pferdekräften, eine Bestimmungsart, welche schon Savery [3] deswegen einführte, weil seine Maschinen die Arbeit der Pferde ersetzten, und welche man seitdem beibehalten hat. Wenn man die Wirkungen der Maschinen mit Pferdekräften vergleicht, so liegen dabei in der Regel die von Watt angenommenen Bestimmungen zum Grunde. Dieser nimmt an, daſs ein Pferd in 1 Sec. 180 ℔ zu einer Höhe von 3 F. zu heben vermöge [4], welches $180 \times 60 \times 3 = 32400$ ℔ in 1 Min. 1 F. gehoben giebt, oder in runder Zahl 33000 ℔. Ist also das Gewicht gegeben, welches in Pfunden ausgedrückt eine Dampfmaschine in einer Minute einen Fuſs hoch hebt, so dividirt man diese Zahl durch 33000, um die Zahl der Pferdekräfte zu finden, welche die Maschine ersetzt, und diese Bestimmung darf man als allgemein angenommen betrachten, wenn von den Pferdekräften einer Maschine ohne nähere anderweitige Bezeichnung die Rede ist. Diese Bestimmung ist indeſs viel zu groſs, indem nur das stärkste Pferd eine solche Anstrengung auf kurze Zeit aushalten kann; Watt wählte indeſs diese Gröſse, damit bei

1 Partington. p. 134.

2 Vergl. Christian Méc. ind. II. 345 ff. Hawkins in Bergmännisches Journal. 1793. St. VI. p. 459.

3 Stuart a. a. O. p. 44.

4 Sonst bewegt ein Pferd nach Watt auch 150 ℔. durch 2,5 engl. Meilen in einer Stunde, welches 33000 ℔. zu 1 F. hoch in 1 Min. giebt. S. Watt bei Robison a. a. O. II. 145. Smeaton, dessen praktische Kenntnisse in diesen Sachen gewiſs von groſser Bedeutung waren, setzt die Kraft eines Pferdes nur zu 22916 ℔. für gleiche Zeit und Höhe. Eine Zusammenstellung mehrerer Angaben über die Kraft der Dampfmaschinen, nebst den Registern, welche über eine groſse Menge englischer Dampfmaschinen geführt sind, finden sich bei G. LIII. 278 ff.

dem unvermeidlichen Ausfalle bei der Dampfmaschine das Geforderte stets sicher geleistet würde. Genauer gerechnet kann man die Kraft eines Pferdes nur zu 22000 ℔ annehmen, und somit ist die gewöhnliche Berechnung um ein Drittheil zu grofs[1]. Aufserdem aber mufs zur richtigen Schätzung des Nutzeffects einer Dampfmaschine zugleich berücksichtigt werden, dafs ein Pferd im Mittel nur 8 Stunden in einem Tage arbeitet, die Maschine aber 24 Stunden, mithin ersetzt eine Maschine von 20 Pferdeskräften in der Wirklichkeit 60 Pferde, wie man auch zu rechnen pflegt, wenn angegeben wird, wie viele Pferde durch die Maschinen ersetzt werden[2].

Zu einer genauen Berechnung des Effectes einer Dampfmaschine würde blofs erforderlich seyn, den Druck zu kennen, welchen der Dampf von gegebener Temperatur gegen die Fläche des Embolus ausübt, um ihn mit einer gewissen Geschwindigkeit zu bewegen, welches bei der jetzigen genaueren Kenntnifs der Elasticität des Dampfes keinen sehr grofsen Schwierigkeiten unterworfen ist[3]. Wenn man aber berücksichtigt, dafs kein Kolben absolut dicht schliefst, mithin allezeit etwas Dampf verloren geht, dafs der mit dem Barometerstande wechselnde Druck der Luft bei denjenigen Maschinen, bei denen der Dampf in die Atmosphäre entweicht und die noch übrige Elasticität des abgekühlten Dampfes bei den Condensationsmaschinen als Gegenwirkung in Betrachtung kommt, dafs die ungleiche Reibung des Kolbens, der Stange in der Stopfbüchse und der übrigen Theile der Maschine überwunden, dafs die Condensationspumpe und die übrigen Theile der Maschine in Bewegung gesetzt und erhalten werden müssen, so begreift man bald, dafs auf diesem Wege der eigentliche Effect einer so zusammengesetzten und von

---

1 S. Prechtl in Jahrb. d. pol. Inst. I. 114.

2 Einen zum Messen des Effectes der Maschinen überhaupt bestimmten Dynamometer hat Prony angegeben. Ann. Ch. Ph. 1822. Vergl. *Dynamometer*.

3 Eine ausführliche Tabelle des Gewichtes, womit der Dampf bei verschiedenen Temperaturen gegen eine Fläche von einem Quadrat-Centimetre drückt, nach verschiedenen fremden und eigenen Versuchen, findet man bei Christian Méc. ind. II. 247. Es scheint mir aus den im Texte enthaltenen Gründen überflüssig, eine solche zu berechnen oder überhaupt aufzunehmen.

so vielen Bedingungen abhängigen Maschine theoretisch nicht berechnet werden kann. Eine für die praktische Anwendung hinlänglich genaue Kenntnifs erhält man indefs aus der Vergleichung desjenigen Effectes, welcher bei den Maschinen beobachtet ist. Aus einer sehr ausführlichen Zusammenstellung vieler, genauer und hinlänglich lange angestellter Beobachtungen [1] ergiebt sich, dafs der wirkliche Effect von einem Quadratzoll Fläche des Kolbens bei doppeltwirkenden Condensationsmaschinen und einfacher Pressung, wobei jedoch der Dampf 1° bis 2° R. über die Siedehitze erhitzt ist, nach engl. Mafse und Gewichte 7,5 ℔ mit 200 F. Geschwindigkeit in 1 Min. und etwa 0,3 bis 0,44 ℔ Kohlenverbrauch auf 1 Stunde beträgt. Der Kohlenverbrauch nimmt bei sehr grofsen Maschinen gegen sehr kleine um etwa die Hälfte ab. Indem aber zu 1 Pferdekraft ein Effect von 33000 ℔ gehört, so findet man die für einen solchen Effect erforderliche Fläche des Kolbens $= x$ aus $33000 = 200 \times 7,5\,x$ zu 22 engl. Quadratzolle. Die Höhe des Stiefels ist so, dafs der Kolben 3 bis 4 Fufs Spielraum hat.

Wird die vielbestrittene Kraft der von Perkins erfundenen Dampfmaschinen nach diesen Grundsätzen berechnet, so liefert die oben gegebene Beschreibung hierzu folgende Elemente. Der

---

[1] Jahrb. d. Polyt. Inst. I, 118. Ueber die von Edwards verfertigten Maschinen findet man eine ausführliche Berechnung bei Borgnis Traité de Méc. Comp. des M. p. 84. Eine nur noch für die älteren und unvollkommneren Maschinen passende Berechnung des Effectes giebt Héron de Villefosse in de la Richesse Minérale. III. 66 u. 86. Hiernach beträgt der Druck gegen einen Pariser Kreiszoll Fläche 7 bis 8 ℔. welche Gröfse daher mit dem Quadrate des Durchmessers des Kolbens multiplicirt die Kraft des Kolbens giebt. Der Kolben durchläuft 3 F. in 1 Sec. und weil sein Rückgang bei einfachen Maschinen ohne Wirkung ist, so macht dieses 90 F. in 1 Min. Die Kraft eines Pferdes setzt er zu 175 ℔. in 1 St. 2000 Toisen bewegt. Ist also der Durchmesser des Kolbens $= d$, so ist die Zahl der Pferdekräfte K welche sie ersetzt; $K = \frac{d^2 \times 7,5 \times 90}{35000}$ mit einem Kohlenverbrauch von 5 ℔. bei den kleineren, und von 3,5 ℔. bei den gröfsten in 24 Stunden. Bei den doppelt wirkenden bewegt sich der Kolben mit 3½ F. in 1 Sec. welches nahe 200 F. in 1 Min. giebt. Hierbei ist also $K = \frac{d^2 \times 7,5 \times 200}{35000}$ mit einem Verbrauche von 7 ℔. Kohlen auf den Kreiszoll in 1 Stunde.

Kolben hält 2 Z. Durchmesser, und hat somit 3,14 Quadratzolle Fläche. Sein Spielraum beträgt 12 Z. oder 1 F. und er macht 200 Stöſse in einer Minute. Nach WATT's Bestimmung einer Pferdekraft ist also der Effect der Maschine bei einem Drucke von 35 Atmosphären gegen den Kolben gleich

$$\frac{7,5 \times 35 \times 200 \times 3,14}{33000} = \text{nahe 5 Pferdekräften}$$

; nach SMEATON aber, eine Pferdekraft = 23000 gesetzt, beträgt sie nicht völlig 8 Pferdekräfte. Perkins rechnet aber, wie oben angegeben ist, daſs nach Abzug der noch bleibenden Elasticität des Dampfes von 80 Atmosphären nach Abzug von 5, welche der Dampf nach der Benutzung noch besitzt, derselbe mit 430 ℔ gegen einen Quadratzoll drücke. Hiernach wäre die Kraft derselben $= \frac{430 \times 3,14 \times 200}{33000} = 8,18$ Pferdekräfte nach WATT's Bestimmung, oder $= \frac{430 \times 3,14 \times 200}{23000} = 11,8$ Pferdekräfte nach SMEATON's Annahme. Sollten aber 35 — 5 oder 30 Atmosphären 430 ℔ wirklichen Effect ausüben, so muſs der Druck des Dampfes von einer Atmosphäre 14,33 ... ℔ gegen einen Quadratzoll betragen. Hieraus ergiebt sich, daſs nach Perkins's Berechnung die Reibung und der Dampfverlust gar keinen Einfluſs haben müſsten, indem der Druck *einer* Atmosphäre nicht mehr als im Mittel etwa 14,33 ℔ gegen einen engl. Quadratzoll Fläche beträgt. Der Dampfverlust läſst sich nicht genau schätzen, die Reibung aber wird bei niederem und hohem Drucke nur einmal überwunden, woraus für Maschinen mit hoher Pressung ein Vortheil erwächst, und so ist es möglich, daſs hiernach, und sonstige bedingende Umstände nicht gerechnet, die Maschine allerdings eine Kraft von 8 bis nahe 10 Pferden ausüben könne, wenn anders der Dampferzeuger bei derselben die erforderliche Menge Dampf zu liefern vermag, wie PRECHTL nicht ohne sehr scheinbare Gründe bestreitet.

Die Bestimmung der zur Verwandlung einer gewissen Quantität Wassers in Dampf erforderlichen Menge von Brennmaterial ist ausnehmend schwierig, und hängt von einer Menge nicht leicht bestimmbarer Nebenumstände ab [1]. Hier wird es genü-

---

1 S. *Verbrennen.*

gen, nur im Allgemeinen anzugeben, daſs nach CLÉMENT und DÉSORMES ein Gewicht Steinkohlen oder Holzkohlen nahe 10 gleiche Gewichte Wasser in Dampf verwandelt, Holz und Torf aber 4,7. Indem aber [1] die Dichtigkeit des Dampfes bei der Siedehitze gegen Wasser = 0,000613 ist, das Gewicht eines Kubikfuſses Wasser aber in genähertem Werthe = 70 ℔ genommen werden kann, so liefert 1 Kub. F. Steinkohlen von 1,45 spec. Gewicht oder nahe 100 ℔ derselben 2370 Kub. F. Wasserdampf von der Siedehitze; 1 Kub. F. Holzkohlen von 0,25 sp. Gew. oder 18 ℔ derselben 426,6 Kub. F.; 1 Kub. F. Holz aber vom spec. Gew. 0,665 oder 47,5 ℔ 1126 Kub. F., für Torf aber läſst sich diese Gröſse wegen der Unbestimmtheit seines spec. Gew. nicht füglich angeben [2]. Wenn man aber berücksichtigt, wie viele Wärme beim gewöhnlichen Heizen unbenutzt verloren wird, so ist wahrscheinlich PARTINGTON's [3] auf praktische Beobachtungen gestützte Angabe die richtigste, daſs 1 ℔ Steinkohlen 7 ℔ Wasser in Dampf verwandelt. Werden hiernach die obigen Gröſsen im Verhältniſs von 7 : 10 genommen, so giebt 1 Kub. F. Steinkohlen 1659 Kub. F. Dampf, 1 Kub. F. Holzkohlen 298,6 Kub. F. und 1 Kub. F. Holz ohngefähr 788 Kub. F. Dampf von der Siedehitze. So fern aber anzunehmen ist, daſs Dampf von doppelter, dreifacher, überhaupt n facher Spannung auch doppelte, dreifache, n fache Dichtigkeit habe, die latente Wärme aber in Dampf von jeder Spannung eine constante Gröſse sey, so werden für Dämpfe von n facher Elasticität die durch gleiche Quantitäten Brennmaterial erzeugten Mengen $\frac{1}{n}$ mal die angegebenen seyn, so daſs also 1 Kub. F. Steinkohlen nur 829,5 Dampf von doppeltem atmosphärischen Drucke erzeugt u. s. w.

Der Verbrauch an Wasser endlich läſst sich aus der bekannten Dichtigkeit des Wasserdampfes bei der erforderlichen Elasticität desselben, aus dem Inhalte des Stiefels und der Zahl der Kolbenstöſse in einer gegebenen Zeit genau berechnen, wenn

---

1 S. *Dampf*, *Dichtigkeit*.

2 Eine ähnliche tabellarische Angabe findet man bei Christian Méc. ind. II. 265.

3 a. a. O. p. 83.

man keinen unnützen Verlust desselben annimmt, oder hierfür eine hinlänglich genäherte Gröfse mit in Rechnung bringt. Indem für das Letztere hier keine Regel aufgestellt werden kann, so möge blofs das Erstere angenommen werden. Ist hiernach der Inhalt des Stiefels nach Abzug des vom Kolben ausgefüllten Raumes = I, die Dichtigkeit des Wasserdampfes von der angewandten Elasticität nach der oben mitgetheilten Tabelle [1] = δ, die Zahl der Hebungen des Embolus, seinen Rückgang nicht mitgerechnet in einer gegebenen Zeit = n, so ist der Verbrauch von Wasser bei den gebräuchlichern doppeltwirkenden (*double reciprocating*) Maschinen = $2nI\delta$, bei atmosphärischen Dampfmaschinen aber $In\delta$. Nach Guenyveau beträgt der Verbrauch von Wasser in einer Stunde 42,3 engl. Kub. Z. für einen Quadratzoll Fläche des Kolbens [2], nach Heron de Villefosse [3] aber 48 Kub. Z. für einen Kreiszoll dieser Fläche bei einfach wirkenden Maschinen. Es versteht sich indefs von selbst, dafs jene Formeln weit genauere Resultate geben, als diese sehr unbestimmten Angaben.

Allgemeine Bemerkungen.

Papinus wollte, wie oben erzählt ist, durch entzündetes Schiefspulver den Embolus in Bewegung setzen. Savery und Newcomen dachten an die Benutzung dieses und ähnlicher explodirender Mischungen, ohne jedoch der unüberwindlichen Schwierigkeiten halber diese Pläne auszuführen. Vor kurzem hat Cecil einen ähnlichen Vorschlag gethan [4]. Er will nämlich unter den Embolus Wasserstoffgas bringen, dieses mit atmosphärischer Luft oder Sauerstoffgas mengen, und das entstandene Knallgas verbrennen, um hierdurch zuerst eine Explosion zur Erhebung und dann ein Vacuum zum Herabsinken des Embolus zu erhalten, wodurch ein Wechselspiel des Kolbens wie bei den Dampfmaschinen bewirkt werden soll. Auf eine ähnliche Weise soll diejenige Maschine eingerichtet seyn, welche ganz kürzlich S. Brown in Vorschlag gebracht, mit dem Namen: *Atmosphä-*

---

1 S. *Dampf. Dichtigkeit des Wasserdampfes.*
2 Borgnis Traité de Méc. Compos. des Mach. p. 83.
3 Richesse minérale III. 67.
4 Transact. of the Cambridge. Phil. Soc. 1822. T. I. P. II. N. 3.

rische Maschine (atmosperical engine) benannt, und ein Patent darüber erhalten hat [1]. Indeſs dürfte nicht bloſs die Bereitung der Gasarten, sondern beim Gebrauche von atmosphärischer Luft das rückbleibende Stickgas, oder auch die das Knallgas auf alle Fälle verunreinigenden Gasarten ein unüberwindliches Hinderniſs entgegensetzen [2], und Tredgold's [3] Berechnungen beweisen ohnehin, daſs dieses mechanische Mittel keineswegs mit gleichem Vortheile als der Wasserdampf angewandt werden kann.

Niepce hat vorgeschlagen, die durch Hitze expandirte Luft statt der Dämpfe als mechanisches bewegendes Mittel anzuwenden und eine hiernach construirte Maschine *Pyréolophore* genannt [4]. Indeſs hat Navier [5] gezeigt, daſs dieses keineswegs mit gleichem Vortheile, als die Benutzung der Wasserdämpfe geschehen kann, obgleich wegen geringerer Wärmecapacität der Luft weniger Wärme erfordert wird, um durch die Erhitzung einer gegebenen Menge von Luft die Elasticität derselben zur Erzeugung einer gleichen Kraft zu vermehren, als diese letztere durch Bildung von Wasserdampf hervorzubringen [6]. Aehnliche Vorschläge haben Cagniard-Latour, Montgolfier und Dayme gethan [7]. Auch der Vorschlag, die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten, namentlich des Alkohols, durch Wärme als bewegendes Mittel statt des Dampfes zu benutzen [8], dürfte in dem geringen Umfange der Volumensvermehrung bei Flüssigkeiten und der Schwierigkeit, sie in den Gefäſsen genau einzuschlieſsen, der Stärke dieser Ausdehnung ungeachtet ein bedeutendes Hinderniſs finden.

---

1 Repert. of Arts cet. 1824. Nov. daraus in Dingler polyt. J. XVI. 179. London J. of Arts and Sciences. 1824. Aug.

2 Eine Beschreibung der Maschine des Lezteren nebst Zeichnung findet man in Brewster's Edinb. Journal of Sc. N. II. p. 339. dort wird ein günstiges Urtheil über sie gefället.

3 Edinb. Ph. J. N. XXIV. 368. Vergl. Ebend. XXIII. 192.

4 Mém. de l'Inst. VIII. 146.

5 Ann. C. P. XVII. 357.

6 Prechtl Jahrb. d. polyt. I. I. 134.

7 Ebend. Vergl. Repertory of Arts and Manuf. 1818. Apr.

8 Edinburgh Journ. of Science N. V. 101.

Endlich hat man neuerdings gesehen, daſs verschiedene Gasarten bei niedriger Temperatur sich in einen sehr engen Raum bis zum troſbar flüssig werden zusammen drücken lassen, und dann bei höherer Temperatur sich mit einer groſsen Gewalt ausdehnen. Davy [1] schlägt vor, solche comprimirte Gasarten als mechanisches Mittel statt des Dampfes zu gebrauchen, ohne eine hierzu geeignete Vorrichtung näher anzugeben. Für die praktische Anwendung dürfte es aber schwer fallen, hierdurch ein stets und gleichmäſsig wirkendes, und bei dem zur Compression erforderlichen Aufwande von Kraft noch vortheilhaftes bewegendes Mittel zu erhalten.

Die Dampfmaschinen sind zwar in England erfunden, am meisten verbessert und vorzugsweise dort verbreitet. Indeſs wurden sie doch ziemlich frühe in andern Ländern eingeführt und auch verfertigt. Gleich anfangs kam eine *Saverysche* nach Petersburg, eine *Newcomensche* mit den Verbesserungen von Potter 1722 nach Königsberg in Ungarn [2], im nämlichen Jahre eine ähnliche durch J. E. Fischer, Baron von Erlachen nach Cassel, und nach Wien in die Gärten des Fürsten von Schwarzenberg [3]. Schon 1788 brachte der Oberbergrath Bückling, welcher deswegen vorher nach England reisete, eine groſse *Watt'sche* Dampfmaschine zu Stande, welche zur Förderung der Grubenwasser bei Hettstädt im Mansfeldschen diente [4], und eine zweite für die Saline Schönebeck bei Magdeburg. Die erstere wurde 1794 mit einer gröſseren vertauscht [5]. Eine groſse Maschine ist seit geraumer Zeit bei den Bergwerken in Tarnowitz im Gange [6].

Am frühesten und zahlreichsten sind die Dampfmaschinen in Frankreich gebraucht und verfertigt. Zwar ist die erste groſse bei Paris durch Perrier zusammengesetzte und von Prony beschriebene [7] aus der Watt'schen Fabrik, indeſs wurden

---

1 Phil. Trans. 1823. II. p. 199.

2 S. Leupold Theat. mach. hydr. II. §. 202.

3 Gehler V. 218.

4 Lichtenb. Mag. IX. 2. 106.

5 Green N. J. I. 144. Beschrieben in Gehler a. a. O. Suppl. B. p. 221.

6 Journ. des Mines. An. XI.

7 S. oben *Erfindung d. D. M.*

sie doch schon seit geraumer Zeit in Namur verfertigt [1]. Seit dem Anfange dieses Jahrhunderts hat sich die Zahl derselben auf dem Continente ausnehmend vermehrt, auch werden sie in eigenen Fabriken in Paris [2], Lyon, Lüttich, Berlin [3] u. s. w. in Menge verfertigt, und nicht mehr bloſs in Bergwerken, sondern auch bei groſsen Fabrikanlagen häufig gebraucht. In Frankreich beläuft sich ihre Anzahl auf mehr als 300, und die Fabrik in Paris verfertigte 1822 allein 36 Stück [4].

Nach America kam 1760 die erste atmosphärische Dampfmaschine, und am Schlusse des vorigen Jahrhunderts befanden sich daselbst nicht mehr als viere [5]. Seitdem ist ihre Zahl dort auſserordentlich vermehrt und sie sind daselbst in groſser Menge und von vorzüglicher Güte namentlich durch Evans verfertigt [6]. Im Jahre 1804 kam eine *Watt'sche* Maschine nach Trinidad [7], erst 1811 aber reisete Uvillé aus Peru nach London, um dort für die Bergwerke auf den hohen Cordilleren nicht zu schwere Dampfmaschinen zu erhalten, lernte die *Trevithick'schen* kennen, brachte eine solche nach Peru und nahm nachher 1816 Trevithick selbst nebst mehreren Maschinen mit nach Peru, um sie dort aufzurichten und neue zu bauen. Letzterem wurde daselbst auſser andern Vortheilen noch 0,2 von dem Antheile der *Lima Compagnie* zugesichert, welches im mäſsigen Anschlage jährlich 100000 Lstl. beträgt [8]. Seitdem sind sie auch in Asien, namentlich in Ostindien in Gebrauch, indem Homes

---

1 Lichtenb. Mag. II. 4. p. 211.

2 Die vom Bürger Droz verfertigten wurden im Anfange dieses Jahrhunderts in Deutschland bekannt. S. Voigt Mag. XI. 226. Eine Beschreibung seiner Maschine ohne Balancier findet sich in Bulletin des Sciences. An. V. p. 18. Daraus bei G. XVI. 356.

3 Eine vollständige Beschreibung der in der *Freund'schen* Fabrik zu Berlin verfertigten sehr schönen Maschinen durch Bröner findet man bei G. LXVII. 49.

4 Duping Rapport fait à l'Inst. Par. 1823. p. 33. Vergl. Borgnis a. a. O. p. 87.

5 Partington a. a. O. p. 46.

6 Marestier Memoire sur les bateaux a vapeur des États unis d'Amerique Par. 1825. 4. p. 105.

7 Stuart a. a. O. p. 173.

8 Geolog. Trans. of Cornwall. I. 222.

eine durch MAUDSLAY gebauete Maschine zum Schälen des Reises auf Ceylon mit grofsem Vortheile anwandte [1].

Um endlich die Kosten dieser Maschinen ohngefähr zu kennen dient folgende Uebersicht. In der *Cockerillschen* Fabrik bei Lüttich kosten [2] ohne Emballage

Maschinen	für	2 bis 3	Pferdekräfte			10000	Franks
—	—	4	—	—	—	14000	—
—	—	8	—	—	—	20000	—
—	—	16	—	—	—	32500	—
—	—	20	—	—	—	40000	—
—	—	30	—	—	—	50000	—
—	—	50	—	—	—	72000	—

Die *Watt'schen* Maschinen zu Bolton kosten [3]

Maschinen	für		2	Pferdekräfte		4500	Franks
—	—	—	4	—	—	8750	—
—	—	—	8	—	—	13000	—
—	—	—	10	—	—	14500	—
—	—	—	12	—	—	16000	—
—	—	—	20	—	—	22500	—
—	—	—	30	—	—	30000	—

Die *Freund'schen* Maschinen in Berlin kosten

Maschinen	für	1	Pferdekraft	2000	Rthlr.	Pr. C.
—	—	2	—	3000	—	—
—	—	4	—	4000	—	—

und von hieran steigen die Preise um 1000 Rthlr. für 2 Pferdekräfte [4]. *M.*

---

1 Partington. 47.

2 Webers Gewerbsfreund 1820. II. 308. Bernoulli a. a. O. p. 250.

3 Bulletin de la Soc. d'Encour. 1822. p. 244.

4 G. LXVII. 79. Zur Literatur dienen aufser den angeführten Schriften: Royal Encyclopaedia. Lond. 1791. vol. III. Art. Steam-Engine. Bossut Traité élémentaire d'Hydrodynamique. à Paris 1792. II vol. 8. Poda Beschreibung der bei dem Bergbau zu Schemnitz errichteten Maschinen. Prag. 1771. 8. Delius Beschreibung der Feuermaschine. 4. Cancrinus Erste Gründe der Berg- und Salzwerkskunde. Th. VII. Bergmaschinenkunst. Frankf. 1777. 8. I. C. Hoffmann Beschreibung und Abbildung zweier neuen Dampfmaschinen. Leipz. 1803. 4.

Dampfschiff.

Dampfboot; Bateau à vapeur; *Steam boat, Steam vessel;* nennt man diejenigen Schiffe, welche gegenwärtig in großer Menge auf Flüssen, Seen und sogar auf dem Weltmeere durch eigene Wasserräder getrieben werden, deren regelmäßige Bewegung durch eine *Dampfmaschine* bewerkstelligt wird. In größerer Vollkommenheit sind sie erst in diesem Jahrhundert gebauet, werden aber gegenwärtig überall so unglaublich vermehrt, daß es unmöglich ist, eine ohngefähre Uebersicht ihrer Menge zu geben. Vorzugsweise sind sie auf den großen Strömen und an den Küsten von Nordamerica in Gebrauch, so daß 1822 bloß auf dem Mississippi und seinen Nebenströmen 18 Dampfschiffe von 40 bis 448 Tonnen fuhren, welche zusammen 7259 Tonnen hielten [1]. Nach Marestier [2] hatten die Americaner vor 16 Jahren noch kein einziges Dampfschiff, und besitzen deren jetzt mehrere Hunderte. Der erste Theil dieser Angabe ist indeß, wie die Geschichte dieser Erfindung zeigen wird, nicht ganz richtig. Um alle Küsten Großbrittanniens fahren Dampfschiffe und erhalten die Communication zwischen dieser Insel und dem Continente, ja sogar zwischen Europa und America fährt die *Savannah* von 350 Tonnen in 20 Tagen von den vereinigten Staaten nach Liverpool, fast stets durch Hülfe der Maschine, und nach öffentlichen Nachrichten soll der Versuch gemacht seyn, mit einem Dampfschiffe nach Ostindien zu segeln. So wie auf den americanischen Binnenseen hat man auch auf der europäischen angefangen, die an ihren Küsten gelegenen Oerter durch Dampfschifffahrt in Verbindung zu setzen, z. B. beim Bodensee, Genfersee u. a. Dahin gehört z. B. der *Wilhelm Tell*, ein Dampfschiff von 110 Tonnen, welches der nordamericanische Consul in Genf, Church, durch den Schiffsbaumeister Maurias

---

1 Partington historical Account of the steam engine. Lond. 1822. 8. p. 67.

2 Mémoire sur les Batéaux à vapeur des états-unis d'Amerique. Par. 1824. 4. p. 2. Dieses Werk enthält zugleich einen Band Kupfer im größten Folio mit genauen Zeichnungen aller Theile der americanischen Dampfschiffe, und beschreibt dieselben vollständig.

aus Bourdeaux erbauen, und mit einer Maschine aus Liverpool versehen liefs, um den Genfersee zu befahren. Es ist unter andern durch die eigenthümliche Art der Schaufeln seiner Treibräder ausgezeichnet, welche auf eine solche Art beweglich sind, dafs sie stets mit ihrer verticalen Ebene ins Wasser eintauchen und sich eben so wieder aus demselben erheben, wodurch das sonst gewöhnliche unangenehme Geräusch vermieden wird, worüber der Erfinder CHURCH ein Privilegium in Frankreich erhalten hat [1]. Grofse Dampfschiffe fahren auf dem Adriatischen Meere. Eins, die *Carolina* geht jeden zweiten Tag von Venedig nach Triest, ein anderes, der *Eridano* fährt zwischen Pavia und Venedig, welcher Weg in 37 Stunden zurückgelegt wird [2]. Für die Dampfschifffahrt auf der Donau, welche übrigens mit 5 und auch wohl 8 F. Geschwindigkeit fliefst, haben FR. BERNARD ET COMP. und CHEV. DE ST. LEON ET COMP. seit 1818 ein funfzehnjähriges Privilegium erhalten.

Die eigentliche Erfindung der Dampfschiffe ist neueren Ursprungs. Zwar hat ein gewisser Franzose, Namens DUQUET, zwischen 1687 bis 1698 zu Havre verschiedene Versuche gemacht, die Kraft des Windes bei Schiffen durch mechanische Mittel zu verstärken [3], welchen MARESTIER [4] daher als den Erfinder der Dampfschiffe anzusehen geneigt ist, allein solche Vorschläge sind ohne Zweifel schon früher an vielen Orten gemacht [5], und gehören, eben wie die Ruder, nicht zur Dampfschifffahrt [6]. Es liegt aufserdem in der Natur der Sache, dafs die Erfindung der Dampfschiffe nicht älter seyn kann, als die der Dampfmaschine selbst, aber wirklich war es auch SAVERY,

---

1 Eine Beschreibung der Maschine und des Schiffes liefert Pictet in Bibl. univ. XXIII. 117.

2 Partington a. a. O. p. 65.

3 Recueil de Machines approuvées par l'Acad. I. 173.

4 Mém. p. 32. Ann. C. P. XXII. 170.

5 Stuart a descriptive history of the steam engine. Lond. 1824. 8. p. 41.

6 Nach PATRIK MILLER in Edinb. Phil. Journ. N. XXV. p. 82. erzählt ROB. VALTURIUS in seiner Schrift de Re militari. Verona 1472. dafs auf den Italiänischen Flüssen kleine Kähne durch Schaufelräder statt der Ruder getrieben würden.

welcher 1698, als er mit der Construction seiner Dampfmaschinen beschäftigt war, das Modell eines Schiffes zeigte, welches durch Schaufelräder bewegt werden sollte, diese aber wollte er wieder durch andere in Bewegung setzen, auf welche das durch seine Dampfmaschine geförderte Wasser fallen sollte, so dafs also die erste, obwohl unausführbare Idee, die Kraft des Dampfes zur Bewegung der Schiffe zu benutzen, von jenem erfinderischen Genie ausgegangen ist. Nur in entfernter Berührung mit den jetzigen eigentlichen Dampfschiffen stehen die Vorschläge eines Schotten, um etwa 1730, die Schiffe durch die Reaction des explodirenden Schiefspulvers fortzutreiben, welches wegen des geringen Effectes bei grofsem Aufwande verworfen wurde, desgleichen eines gewissen Genevois aus Bern, welcher 1759 absichtlich nach London kam, und dort seine Pläne vorlegte, die Schiffe vermittelst Wasserräder zu treiben, letztere aber durch Federn in Bewegung zu setzen, und diese durch verschiedene Mittel, wahrscheinlich auch durch die Kraft des Schiefspulvers zu spannen [1].

Der erste eigentliche Erfinder der Dampfschiffe ist wohl ohne Zweifel Jonathan Hulls, welcher 1736 ein Patent für dieselben erhielt [2]. Nach seinem Vorschlage sollte die lothrechte Bewegung der Stange des Embolus durch Seile in eine rotirende verwandelt werden, ein sehr unvollkommener Mechanismus, wogegen indefs die Admiralität, indem er ihr das Project vorlegte, weniger einzuwenden hatte, als vielmehr gegen die Zerbrechlichkeit der Räder, wovon sie meinte, dafs sie unmöglich der Gewalt der Wellen widerstehen könnten. Hulls entgegnete, dafs er seine Schiffe nicht in die unruhige See zu bringen gesonnen sey, indem er nicht ahnen konnte, in welcher Ausdehnung sein Vorschlag keine hundert Jahre später ausgeführt werden würde [3]. Sein Vorschlag scheint nie ausgeführt zu seyn, eben so wenig als ein ähnlicher von Gau-

---

1 Stuart. a. a. O. p. 148.

2 Partington a. a. O. p. 54. Annals of Phil. II. 469. A Description and draught of a new-invented machine for carrying vessels or ships aut of or into any harbour, port, or river, against wind or tide, or in a calm. By Jonathan Hulls. Lond. 1737.

3 Dupin bei Marestier a. a. O. p. 4.

tier, welcher Schiffe durch Schaufelräder, diese durch die Schiffsmannschaft, und weil deren Kräfte nicht ausreichen würden, durch eine Dampfmaschine in Bewegung zu setzen vorschlug [1]. Sonach wäre das Schiff mit einer Dampfmaschine, welches Perrier 1775 wirklich erbauete, und vermittelst einer Dampfmaschine auf der Seine bewegte, das erste Dampfschiff, welches aber nur mit der Kraft eines einzigen Pferdes getrieben wurde, daher zu langsam fuhr, so dafs die Sache abermals in Vergessenheit kam [2]. Im Jahre 1775 äufserte auch Franklin in einem Briefe an Leroi die Idee, Schiffe vermittelst einer Dampfmaschine zu bewegen, welches vielleicht dazu diente, dafs diese Aufgabe in America vorzüglich berücksichtigt wurde, denn man hat dort und in Frankreich derselben die meiste Aufmerksamkeit geschenkt. Weniger wurde die Sache in dem letzteren Lande betrieben durch den Abbé Darnal um 1781, als im folgenden Jahre durch den Marquis von Jouffroi, dessen Versuche wahrscheinlich zu einem Resultate geführt hätten; wäre er nicht durch die Revolution gehindert worden, welche ihn vermochte, ins Ausland, namentlich nach America, zu reisen. Bei seiner Rückkehr 1796 erfuhr er, dafs ein gewisser Desblanc aus *Trevoux* ein Patent auf solche Schiffe erhalten habe, focht dieses an, ohne wegen der unruhigen Zeiten Gehör zu finden. In America dagegen erbauete ein gewisser Fitch seit 1786 Böte mit schaufelförmigen Rudern, brachte 1787 eins zu Stande, wobei die Ruder durch eine Dampfmaschine, obgleich sehr langsam bewegt wurden. Hiermit fuhr er auf dem Delaware und es ist ohne Zweifel dieses, oder das durch Rumsey erbauete das nämliche, dessen durch Franklin in seinen Briefen [3] Erwähnung geschieht, wenn er meldet, er habe schon 1788 ein Dampfschiff auf den dortigen Gewässern fahren gesehen. Die Kosten der Erhaltung waren indefs bedeutend gegen den Ertrag wegen der unaufhörlichen Reparaturen, Fitch gab daher die Sache auf, kam 1791 nach Europa, und entwarf mit Vail, dem americanischen Consul zu

---

1 Mém. de la Soc. Roy. de Nancy. 1755. T. III.

2 Marestier a. a. O. Vergl. Annales de l'Industrie 1822. Dec. p. 297.

3 J. de Ph. LXXXI. 438.

Lorient den Plan zu einer Dampfschifffahrt in Europa, welcher von der Regierung zwar beifällig aufgenommen wurde, aber nicht zur Ausführung kam. Sein Zeitgenosse, Rumsey, brachte den eigentlichen Vorschlag Franklin's in Ausführung, indem er das Wasser mittelst einer Dampfmaschine am Vordertheile des Schiffes eingezogen, am Hintertheile aber wieder ausgestofsen werden liefs, und durch diese Reaction eine Bewegung hervorbrachte. Aber auch dieses gelang nicht genügend, und er ging daher nach London, um dort die Sache weiter zu betreiben. Nicht mehr Glück machte Morey, welcher verschiedene Arten Ruder, namentlich auch Schaufelräder durch eine Dampfmaschine in Bewegung setzte. Man mufs glauben, dafs das Mifslingen aller dieser Versuche von der Unvollkommenheit der Dampfmaschinen herrührte.

Am meisten wurde diese Erfindung gefördert durch Livingston, welchen viele günstige Umstände dabei unterstützten, während er selbst vorzüglich viel durch seine Beharrlichkeit ausrichtete. Der Staat von Newyork ertheilte ihm nämlich 1798 ein Privilegium auf 20 Jahre, wenn er bis 1799 ein Schiff von der erforderlichen Geschwindigkeit der Bewegung zu Stande brächte. In Verbindung mit den Mechanikern Kinsley, Roosevelt und Stevens versuchte er verschiedene Mittel ohne genügenden Erfolg. Während seiner Anwesenheit als Gesandter der vereinigten Staaten in Frankreich um 1802 machte er Bekanntschaft mit Fulton, dessen Versuche der oben genannte Desblanc fürchtete, aber auf seine Klagen gegen ihn in Gemäfsheit seines erhaltenen Patentes von diesem zur Antwort erhielt, er würde nie die Flüsse Frankreichs befahren. Fulton hatte schon 1793 dem Lord Stanhope den Plan zu einem Dampfschiffe mitgetheilt, lernte später die Versuche Symington's in England, und durch Livinston die in America gemachten kennen. Fulton zog unter allen Vorrichtungen die Schaufelräder vor, erhielt 1803 mit Livingston von den Staaten von Newyork noch einen Aufschub von zwei Jahren, um das zur Erlangung eines Patentes bedingte Probeschiff vorzuzeigen, und brachte dasjenige zu Stande, welches mit einer Geschwindigkeit von 1,6 Metre in einer Secunde die Seine herauffuhr. Die Verfertigung der bekannten zerstörenden Maschinen, welche

sich unter dem Wasser bewegen sollen [1], beschäftigen Fulton eine Zeitlang, er kehrte erst 1806 nach America zurück, wohin er eine Dampfmaschine aus der Fabrik von Watt und Boulton hatte senden lassen, erhielt 1807 abermals einen Aufschub der ihm gesetzten Frist, und brachte dann das Schiff zu Newyork zu Stande, womit er eine Reise nach Albany machte, welches 120 Seemeilen entfernt er in 32 Stunden erreichte, und in 30 Stunden die Rückreise beendigte [2]. Das Schiff hiefs *Clermont*, und erregte durch seinen rauchenden Mast'baum und die Gewalt, womit es gegen Wind und Wellen ankämpfte, die Bewunderung der Anwohner des Flusses.

Unter der Leitung Fulton's, welcher aufserdem durch seine *Torpedos*, *Feuerschlangen*, *Höllenmaschinen* bekannt ist, wurden viele Dampfboote erbauet. Eins der merkwürdigsten darunter ist die grofse *Dampffregatte*, welche erst im Sommer 1815, gleich nach dem Tode ihres Erfinders vollendet wurde. Sie besteht aus zwei 66 F. langen Booten mit einem Zwischenraume von 15 F. in welchem sich das Schaufelrad bewegt, wofür die Dampfkessel sich in dem einen, die Dampfmaschine selbst im andern Boote befinden. Bei einer zweimaligen Probe betrug ihre Geschwindigkeit, wenn sie mit der Bemannung fuhr, fast 6 engl. Meilen (zu 4956 F.) in einer Stunde. Auf dem Hauptverdecke befindet sich der Raum für die Bewaffnung, welche durch eine Brustwehr von massivem Zimmerholze, 4 F. 10 Z. dick geschützt ist, mit 32 Schiefsscharten und eben so viel Kanonen, um glühende Kugeln zu schiefsen, zu deren Erhitzung alles bequem eingerichtet ist. Auch das obere, zur Aufstellung der Mannschaft bestimmte Verdeck ist mit einer starken Brustwehr umgeben. Die Fregatte hat zwei starke Masten mit Segeln, zwei Bogspriets und vier Steuerruder, eins an jedem Ende der beiden Boote, um auf gleiche Weise vorwärts und rückwärts bewegt zu werden. Die Dampfmaschine ist aufserdem noch eingerichtet, mehrere Pumpen-

1 Vergl. Bulletin de la Soc. d'Encourag. cah. 82. Archives des decouv. 1811. Dec.

2 S. aufser Marestier noch Buchanan Treatise on propelling vessels by steam. Lond. 1816. p. 7 ff. J. Bristed's Resources of the united states of America. New-York. 1818.

werke zu treiben, um eine Fluth heifses Wasser auf die feindlichen Schiffe zu spritzen, eine wegen des Widerstandes der Luft ohne Zweifel unausführbare Aufgabe, es sey denn, dafs dieses Mittel gegen das ohnehin unwahrscheinliche Entern gebraucht werden sollte. Solcher Fregatten sollten mehrere zur Beschützung der Küsten erbauet werden, es scheint dieses indefs nicht ausgeführt zu seyn, indem Marestier selbst diese eine Fulton 1. genannt, nicht erwähnt [1].

Es ist in der That merkwürdig, dafs die Erfindung der Dampfboote in *England*, ohngeachtet so früher, nicht eigentlich mifslungener Versuche, nicht mehr gefördert wurde. Der oben erwähnten älteren und minder oder gar nicht zweckmäfsigen nicht zu gedenken that nämlich schon 1785 der Banquier Miller aus Dalswinton Vorschläge zur Erbauung eines doppelten Bootes zwischen dessen beiden Theilen ein Schaufelrad zur Bewegung desselben angebracht werden sollte, beschrieb es 1787, liefs, unterstützt durch Symington und Taylor, ein solches in kleinem Mafsstabe erbauen, mit einer kleinen Dampfmaschine versehen, und fuhr damit 1788 auf *Dalswinton-Lake*. Im folgenden Jahre wiederholte er den Versuch mit einem grösseren Schiffe auf dem *Forth* und *Clyde* Canal, welcher gleichfalls glücklich ablief, wurde indefs von einem Theilnehmer betrogen, so dafs ihn diese Probeversuche an 30000 Lstl. kosteten, legte sich nachher auf Untersuchungen den Ackerbau betreffend, hob aber die noch jetzt vorhandenen Modelle sorgfältig auf [2]. Aehnliche Versuche soll Clarke 1791 zu Leith angestellt haben, auch erzählt man von den zu Glasgow gemachten, ohne dafs jedoch die Sache gegenwärtig noch hinlänglich bekannt ist [3].

Mit Uebergehung der minder zweckmäfsigen Vorschläge [4]

---

1 Vieles darüber ist in öffentlichen Blättern bekannt gemacht, daraus bei G. LIII. 66. Vergl. Jahrb. d. Polyt. Inst. I. 210.

2 Partington a. a. O. p. 58. Ann. of Phil. 1819. Apr. p. 272. Vorzügl. der Bericht seines Sohnes in Edinburgh Phil. Journ. N. XXIV. p. 81.

3 Weld in Bibl. Brit. 1815. Sept. G. LIII. 77. J. d. P. LXXXI. 438.

4 Eine kurze Erwähnung scheint der, wahrscheinlich nie ausgeführte Vorschlag zu verdienen, ein Schiff durch eine Art Paternoster-

von Lord Stanhope, welcher 1795 Ruder, den Entenfüßsen ähnlich, anzuwenden rieth, und Linnakers, nach welchem das oben erwähnte Mittel, nämlich Wasser am Vordertheile des Schiffes einzusaugen und am Hintertheile wieder ausfließsen zu lassen, angewandt werden sollte [1], verdienen vorzüglich die Versuche von Bunter und Dickinson erwähnt zu werden, deren Dampfboot um 1801 auf der Themse fuhr, aber mit zu geringer Geschwindigkeit, noch mehr aber Symington's, welcher unterstützt durch Lord Dundas ein eigentliches Dampfboot nach der neueren Bauart verfertigte, und im Forth und Clyde Canal schiffen liefs. Von ihm oder von Miller ist die Erfindung, den Stiefel der Dampfmaschine fast horizontal zu legen, um hierdurch das Schwungrad entbehrlich zu machen, und auf die Kurbeln der Schaufelräder unmittelbar zu wirken [2]. In der That scheint gegen die Zweckmäfsigkeit und Brauchbarkeit seines Schiffes nichts eingewandt zu seyn, allein es durfte nicht weiter gebraucht werden, weil die Schaufelräder die Ufer des Canals zu sehr beschädigten [3], und doch fährt man jetzt überall mit gleichen Dampfschiffen. Symington brachte aufserdem Stampfer am Vordertheile seines Schiffes an, welche das Eis zerstofsen, und dadurch einen Weg eröffnen sollten. Erst der häufige Gebrauch der Dampfschiffe in America scheint die Aufmerksamkeit in England mehr auf dieselben gerichtet zu haben, und dennoch konnten sie so wenig in Aufnahme kommen, dafs noch 1812 Bell und Thomson, die Actionärs eines durch Wood aus Glasgow erbaueten Passagierschiffes, von 40 F. Kiel und 10,5 F. Baum (*beam*) mit einer Maschine von 3 Pferdekräften zwischen Glasgow und Greenock fahrend kaum ihre Kosten gesichert fanden [4]. Gegenwärtig ist die Zahl der Dampfschiffe

---

werk mit grofsen, dem Schiffe parallel bewegten Schaufeln fortzutreiben, wovon sich dem Anscheine nach etwas erwarten läfst.

1 Partington p. 60. erwähnt, dafs schon John Allen in Specimina ichnographica 1730 dieses empfohlen habe.

2 Buchanan a. a. O. p. 7. Solche Maschinen mit liegendem Stiefel scheinen für die Dampfschiffe vorzüglich brauchbar, wie die oben beschriebene von Perrier und von Perkins. Vergl. *Dampfmaschinen*.

3 Partington. p. 59.

4 Buchanan a. a. O. Nach Marestier a. a. O. p. 176. wurden zwei

auch in England ungemein grofs, und sie werden nach verschwundenem Vorurtheile von einer möglichen Gefahr viel benutzt, wie aus der Menge der Passagiere beurtheilt werden kann. Deren wurden in einem der letzteren Jahre gezählt auf dem Clyde Canal zwischen Glasgow und Edinburgh 94250, auf dem Ardrassan Canal zwischen Glasgow und Paisley 51700 und auf dem Monkland Canal 18000.

Die meisten Dampfböte dienen gegenwärtig noch zum Transporte von Reisenden und als Packetböte, weil die Maschine einen grofsen Raum einnimmt und schwer ist. Sie sind fast durchaus sehr elegant gebauet, haben die Maschine im mittleren Raume und aufserdem vorn und hinten Kajüten, eine engere und zu wohlfeileren Plätzen vorn, eine geräumigere und bequem eingerichtete hinten. Zuweilen werden diese durch Dampf oder durch die warme Luft geheizt, welche über der Feuerstelle erhitzt ist. Auf den americanischen Dampfschiffen ist das Zimmer der Damen von dem der Herren abgesondert, und aufserdem hat man gemeinschaftliche Gemächer, Domestikenkammern an der Seite der Maschine, wie denn überhaupt für Bequemlichkeit und selbst für Aufwartung bestens gesorgt ist [1]. Der Maschinenraum beträgt selten mehr als 20 F. in der Länge und etwas über die Hälfte hiervon in der Breite, welches für eine Maschine von 20 Pferdekräften mit 2 Kesseln und einer Ladung Kohlen hinreicht. Auch hierbei ist bei kleinen Maschinen der Aufwand verhältnifsmäfsig gröfser, und man findet es daher vortheilhafter, sie gröfser zu bauen, welches vorzüglich auf den grofsen Flüssen America's und auf der See leichter ausführbar ist. Dort giebt es daher Dampfschiffe von 300 bis 400 Tonnen, doch sollen nach Buchanan die von 70 F. Kiel und 90 Tonnen die besten seyn.

Um über die verhältnifsmäfsige Gröfse der Dimensionen eines Dampfschiffes in Concreto urtheilen zu können, mögen folgende genauen Angaben von Barlow [2] dienen. Das zur

---

Schiffe, der Komet und die Elisabeth zugleich erbauet. Gleich im folgenden Jahre wurde die Zahl derselben bedeutend vermehrt.

1 Ausführlich bei Marestier a. a. O. p. 45.

2 Edinburgh Philos. Journ. XXIV. 289.

Untersuchung der norwegischen Küsten dienende Königl. Dampfschiff, der Komet, von 237 Tonnen hatte in englischem Fußmaße

Länge des Schiffes . . .	115 F.	0 Z.
Gröfste Breite . . .	21 —	0 —
Länge des Dampfkessels	15 —	0 —
Mittlere Breite desselben . . .	15 —	0 —
Tiefe desselben . . .	8 —	6 —
Metalldicke . . .	0 —	$\frac{3}{8}$ —
Höhe des Schornsteines . . .	36 —	0 —
Durchmesser desselben bis 3 F. 3 Z. Höhe .	2 —	9 —
desgleichen für 32 F. 9 Z. . . .	1 —	6 —
Dicke des Metalles	0 —	$\frac{1}{16}$ —

Es lassen sich noch verschiedene, bisher überhaupt nicht erschöpfend behandelte Untersuchungen, diese wichtigen Maschinen betreffend, anstellen, namentlich über die geeignetste Form zur Ueberwindung des Widerstandes, über die Höhe der Räder, Zahl und Flächeninhalt der Schaufeln, Lage der Räder zur Erhaltung des gröfsten Effectes, Bauart des Schiffes im Ganzen zur Vermeidung des Umschlagens und eines zu grofsen Druckes der Wellen gegen dasselbe, nebst vielem anderen. Folgendes ist theils leicht zu übersehen, theils die Hauptsache zunächst betreffend. Man darf annehmen, dafs der Widerstand, welchen das Schiff in stillem Wasser erleidet, dem Quadrate der Geschwindigkeit nahe proportional ist. Wird also die zu einer Geschwindigkeit = u erforderliche Kraft a genannt, so ist sie für eine andere = v leicht zu finden, nämlich $a\frac{v^2}{u^2}$. Hiernach steigt indefs die, zur Bewegung des Schiffes erforderliche, in Pferdekräften ausgedrückte Wirksamkeit der Maschine sehr, und würde, wenn sie für eine Geschwindigkeit von 7 engl. Meilen in einer Stunde 12 Pferdekräfte bedürfte, für 10 Meilen schon 35 erfordern. Es verdient dieses vorzüglich berücksichtigt zu werden bei stromaufwärtsgehenden Fahrten und Seereisen, indem bei jenen die Geschwindigkeit des fliefsenden Wassers zugleich mit überwunden werden mufs, bei diesen aber der starke Kohlenverbrauch nicht leicht wieder ersetzt werden kann, welcher bei Dampfmaschinen auf Schiffen ohnehin ungleich gröfser ist, als bei feststehenden auf dem Lande, theils

wegen des unvollkommenen Baues des Schornsteines und des hiervon abhängenden geringeren Luftzuges, theils wegen des kleineren Raumes und der minderen Verwahrung gegen Wärmeleitung beim Siedekessel.

Ist ferner die Geschwindigkeit der Schaufeln $= V$; die des Schiffes $= v$, so ist die Geschwindigkeit, womit die Schaufeln das Wasser treffen $= V - v$; der Widerstand also $= (V - v)^2$. Weil aber das gestoſsene Wasser mit einer Geschwindigkeit $= (V - v)$ nachgiebt, so erhält man für die effective Gewalt die Proportion $V - v : v = (V - v)^2 : v(V - v)$. Der Effect dieser Gewalt ist ein Gröſstes, wenn $2V = 3v$, oder wenn die Geschwindigkeit des Centrums des Widerstandes der Schaufeln $\frac{3}{2}$ mal die Geschwindigkeit des Bootes erreicht. Tredgold [1] findet ferner durch Berechnung, daſs der Halbmesser eines Rades mit acht Schaufeln $= 5{,}12$ F. seyn muſs; für mehr Schaufeln ist ein gröſserer Halbmesser erforderlich, damit sie einander nicht zu nahe kommen; gröſsere Räder aber haben wegen ihrer Schwere, wegen der Gewalt, welche Wind und Wellen dagegen ausüben und aus andern Gründen manches wider sich.

Bewegt sich das Schiff in flieſsendem Wasser, und heiſst der Widerstand $= a$ bei einer Geschwindigkeit $= u$; ist ferner die Geschwindigkeit des Schiffes $= v$ des Stromes $= c$, so erhält man für die Fahrt stromabwärts $u^2 : (v - c)^2 = a : \frac{a(v-c)^2}{u^2}$; stromaufwärts aber $u^2 : (v + c)^2 = a : \frac{a(v+c)^2}{u^2}$. Die erforderliche Kraft ist also allgemein $\frac{a(v \mp c)^2}{u^2}$. Im ersteren Falle ist ferner die Geschwindigkeit, womit die Schaufeln gegen das Wasser stoſsen $= V + c - v$ im letzteren $= V - c - v$, und die Kraft des Widerstandes ist daher allgemein $= (V \pm c - v)^2$. Es ist aber $V \pm c - v : v = (V \pm c - v)^2 : v(V \pm c - v)$. Der Effect in einer gegebenen Zeit ist aber ein Maximum, wenn $V = \frac{3v}{2} \mp c$ oder wenn $V = 1{,}5v \mp c$ ist, wonach $v = \frac{2(V \pm c)}{3}$ wird. Setzt man hierin $c = 0$, so erhält man die oben gefun-

1 Edinb. Phil. Journ. XIII. 250.

dene Formel. Heifst endlich P die Kraft der Dampfmaschine, so ist $P = \frac{a v (v \mp c)^2}{u^2}$; und wenn das Verhältnifs der Geschwindigkeit des Stromes zu der des Schiffes = 1 : n ist, woraus c = n v wird, so ist $P = \frac{a v^3 (1 \mp n)^2}{u^2}$, und $v = \left(\frac{P u^2}{a (1 \mp n)^2}\right)^{\frac{1}{3}}$. Tredgold berechnet hiernach folgende zusammengehörige Geschwindigkeiten

Mit dem Strome.		Gegen den Strom.	
Gesch. d. Wass.	Gesch. d. Bot.	Gesch. d. Wass.	Gesch. d. Bot.
Meil. in 1 St.	Meil. in 1 St.	Meil. in 1 St.	Meil. in 1 St.
4	8	1,08	4,34
2,2	6,6	1,38	4,16
1,53	6,12	1,92	3,85
0,00	5,00	2,38	3,58
		3,17	3,17

Man hat auch vorgeschlagen, das Dampfschiff vom Transportschiffe zu trennen, um den Reisenden auf letzterem mehr Bequemlichkeit ohne die Unannehmlichkeiten des Schaukelns, der Hitze und des Lärmens der Maschine zu verschaffen, doch ist dieses bis jetzt noch nicht in Ausführung gebracht. Ein sinnreicher Mechanismus ist aufserdem von Dickson angegeben, die Räder nach Erfordern höher oder niedriger zu stellen, damit sie stets nur bis zu der erforderlichen Tiefe ins Wasser eintauchen. Eine Anwendung hiervon macht man auch, indem die Schiffe zugleich Segel erhalten, und diese bei günstigem Winde entweder allein oder zugleich mit der Maschine benutzt werden, um Kohlen zu sparen.

Die Kosten eines Dampfschiffes von 100 Tonnen, welches 4,5 F. tief im Wasser geht, werden auf 6000 Lstl. angegeben. Eine Hauptsache ist zugleich der starke Kohlenverbrauch bei denjenigen Dampfmaschinen, welche die Schiffe treiben, indem eine gewöhnliche Maschine von 33 Pferdekräften ohngefähr nur zwei Drittheile desjenigen erfordert, was für eine solche von 14 Pferdekräften verwandt werden mufs. Mit gröfserem Vortheile werden auch hierbei die Maschinen von hohem Drucke angewandt, allein weil eine solche gleich anfangs bei Norwich zer-

sprang, so werden sie in England wenig oder gar nicht gebraucht, obgleich die öffentliche Untersuchung genügend ausgewiesen hat, dafs ohne unverzeihliche Nachlässigkeiten keine Gefahr damit verbunden ist [1]. In America dagegen sollen alle Dampfschiffe, mit Ausnahme von etwa einem oder zweien, Maschinen mit hohem Drucke haben [2]. Genauer giebt Marestier [3] die Elasticität des Dampfes zu zwei Atmosphären an, oder vielmehr, wenn man den Druck einer Atmosphäre nahe genau zu 1 Kilogr. auf ein Quadratcentimeter rechnet, das Barometer zu $0^m,75$ angenommen, so zeigt das Manometer des Dampfkessels in der Regel nur $0^m,5$, aber der Dampf entweicht nicht in die freie Luft, sondern in einen Condensator. Indefs giebt es auch solche von acht und zehnfachem atmosphärischem Drucke. Anfangs bediente man sich kleinerer Maschinen, jetzt aber haben manche auch englische Dampfschiffe zwei Maschinen von 50 bis 55 Pferdekräften. Neuerdings sind die für die Dampfschiffe anwendbaren Maschinen in vielen Stücken verbessert durch Brunel in London, vorzüglich durch die einfache Weise, auf welche er die rotirende Bewegung der Räder ohne Balancier direct erhält [4].

Den Bau der Dampfschiffe in ihren einzelnen Theilen zu beschreiben, würde zu weitläuftig und hier nicht zweckmäfsig seyn [5]. Vollständig findet man alles dieses bei Marestier, aus welchem nur Folgendes entlehnt werden mag. Die Schiffe selbst sind im Allgemeinen flach, und werden durch Schaufelräder und den Widerstand des Wassers gegen deren Schaufeln fortgestofsen, indem die Kraft der Dampfmaschine diese Räder umtreibt, deren Durchmesser selten unter 4 Metres beträgt. Diejenigen Schiffe, welche mehrere Stunden der Strömung entgegenfahren müssen, haben in der Regel nur einen Kiel, und zwei

1 Partington a. a. O. p. 70.

2 Stuart a. a. O. p. 167.

3 a. a. O. p. 48.

4 Revue encycl. 1823. Avr. p. 207.

5 Eine ziemlich vollständige Beschreibung nebst einer erläuternden Zeichnung findet man bei G. LIII. 70. desgleichen von Stevenson's Dampfbote nebst geschichtlichen Nachrichten über die Erfindung überhaupt in Ann. of Phil. XII. 279.

Räder, diejenigen aber, welche in stillem Wasser fahren, bestehen aus zwei Kielen, zwischen denen sich nur ein Rad befindet; doch sind diese aus vielen Gründen weniger brauchbar und seltener. *M.*

Dampfwagen.

Chariot à vapeur; *Steam carriage*, *Steam cart*, *locomotive engine*, *steam horse*.

Die Idee, Wagen vermittelst der Dampfmaschinen in Bewegung zu setzen, mag wohl nach den Erfindungen und vielfachen Verbesserungen derselben durch Watt von vielen gehegt und geäufsert seyn. Hierhin gehören die Vorschläge von Gautier um 1755 und ein noch vorhandenes Modell eines Dampfwagens, dessen Räder durch eine Dampfmaschine bewegt wurden, nach der Angabe von Cugnot, welcher ihn 1770 wirklich ausführen liefs [1]. Ausführlichere Vorschläge machte ferner der Americaner Oliver Evans schon 1786 bekannt, auch brachte um 1795 der bekannte Mathematiker Robison diesen Gegenstand abermals in Anregung [2], ohne dafs bei der damaligen und auch späteren Einrichtung der Dampfmaschinen an die wirkliche Ausführung zu denken war. Erst 1802 verfolgten Vivian und Trevithick dieses Project ernstlicher, kamen dadurch auf ihre Maschinen mit hohem Drucke, und baueten nachher nebst Blenkinsop wirklich solche Fuhrwerke. Man hat sie so gebauet, dafs die Wagenräder durch den Mechanismus der Dampfmaschinen umgetrieben den Wagen nebst der darauf befindlichen Maschine und einer Last fortbewegen, gewöhnlicher aber ist es, dafs der Dampfwagen für sich durch die Maschine bewegt, mit seinen gezahnten Rädern in die Getriebe der Eisenbahn eingreift, und durch seine Bewegung andere beladene Lastwagen hinter sich herzieht. Schon 1804 war ein solcher

---

1 Marestier mémoire sur les bateaux à vapeur des États unis d'Amerique. Par. 1824. 4. p. 34. In den 80ger Jahren soll in Paris ein Wagen gezeigt seyn, welcher durch die Reaction einer auf ihm liegenden Aeolipile eine lieue in einer Stunde zurücklegte. S. J. d. ph. LXXXI. 438.

2 Stuart A descriptive History of the Steam Engine. Lond. 1824. 8. p. 97.

Trevithickscher Wagen bei den Kohlenminen in South-Wales im Gange, zog Wagen mit 10,5 Tonnen beladen, und machte hiermit 5,5 engl. Meilen in einer Stunde [1]. Die Hauptaufgabe dabei ist, die Maschine so sehr zu verkleinern, dafs ihr eigenes Gewicht nicht allzu bedeutend bleibt, weswegen nur Maschinen mit hohem Drucke dabei angewandt werden können. Ganz hat sich indefs diese Schwierigkeit noch nicht beseitigen lassen, und weil einigemale durch das Springen der Maschine Unglück angerichtet wurde [2], so kamen die Dampfwagen wieder in Abnahme, und blieben blofs noch als Transportmaschinen der Steinkohlen an einigen Orten in Gebrauch [3]. Ob die *Perkins'schen* Dampfmaschinen zu diesem Zwecke sich brauchbar zeigen werden, mufs die Zukunft lehren. Um eine Vorstellung von der Sache zu erhalten, diene folgende Beschreibung eines bei *Leeds* gebrauchten, von Blenkinson verfertigten Wagens [4].

Um die einzelnen Theile leichter zu übersehen, ist in der Zeichnung die eine Hälfte des Wagens in der Mitte durchschnitten. Ein Haupttheil der Maschine ist der ovale Kessel aus Gufseisen b b, welcher aus zwei Hälften gegossen in der Mitte zusammengefügt ist. Unter diesem befindet sich der Heerd d, mit dem Roste c und dem Aschenraume f nebst dem Schornsteine g, alles von Gufseisen, letzterer ohngefähr 9 Fufs über den Heerd hervorragend. Das zur Dampfbildung bestimmte Wasser umgiebt den Heerd, der Dampf verbreitet sich in den leeren Raum des Kessels, dessen Deckel zwei Sicherheitsventile h, h, und zwei in den Dampfkessel herabgehende Stiefel i, i hat, deren Kolbenstangen einen gleicharmigen, durch das Loch α gesteckten Hebelbalken mit zwei Stangen β, β tragen, und durch ihre

Fig. 159.

---

1 Stuart a. a. O. p. 164.

2 Am 7ten Aug. 1816 sprang der Kessel eines solchen Dampfwagens zu Newbottle in Derham, wobei 50 Menschen verunglückten, weswegen viele solcher Wagen wieder abgeschafft wurden. S. Borgnis Traité de Méc. appliquée aux Arts, Compositions des Mach. p. 123.

3 Bemerkungen über die von H. v. Reichenbach angekündigte Verbesserung der Dampfmaschinen von J. v. Baader. München 1816. 8.

4 Nach Borgnis a. a. O. p. 123. Vergl. Repertory of Arts Manufactures and Agriculture. IV. Bulletin de la Soc. d'Encouragement. 14. année. Heron de Villefosse de la Richesse minérale. Par. 1819. 4. III. 108.

Bewegung die Kurbelstangen m m umdrehen, welche jede ein Rad n mit dreifsig Zähnen, und durch dieses ein anderes Rad o mit 60 Zähnen umdrehen, auf deren Axe das starke gezahnte Rad p p befestigt ist, dessen Zähne in die gezahnte Eisenbahn eingreifend den Wagen fortreiben, währen die Last desselben auf den 4 nicht gezahnten Rädern q q, q q . . . ruhet. Das Spiel der Kolben wird regulirt durch Hähne mit 4 Oeffnungen[1] s (*four-way-cock*), welche den Dampf aus dem Kessel entweder in den Stiefel treten, oder durch das Rohr t entweichen lassen. Zur Steuerung der Hähne dienen die Kurbeln u . . . . . , welche an den Stangen v v befestigt sind. Letztere sitzen mit ihren Enden in den Hebelarmen x, x, deren anderes Ende die Stangen y, y trägt, welche vermittelst aufgeschlitzter Enden auf Knöpfen an Kurbeln der Räder n, n befestigt sind. Indem diese dann durch den angegebenen Mechanismus umgetrieben werden, so bewegen sich die Enden der Stangen y y hierdurch sowohl aufwärts als abwärts, zugleich aber werden sie, wenn sie nach oben und unten bewegt sind, so weit angezogen und zurückgeschoben, als erforderlich ist, die Hähne zu drehen, welcher Wechsel bei jedem Umlaufe des Rades Z einmal statt finden mufs. Endlich wird das, aus dem unter und über dem Embolus entweichenden Dampfe, condensirte Wasser vermittelst einer Rinne aufgefangen und abgeleitet[2]. Die Stiefel stehen, zur bessern Erhaltung ihrer Hitze, im Kessel, und sind oben mit schlechten Wärmeleitern bedeckt, auch umgiebt man den Kessel mit einer Hülle (einer Tonne), welche etwa einen Zoll Zwischenraum zwischen dem Holze und dem Kessel läfst.

Die beschriebene Maschine, zu *Middleton* bei *Leeds* gebraucht, zieht 30 Wagen mit ohngefähr 70 Ct. Kohlen beladen in 1 Stunde 1⅛ lieues weit. Sämmtliche Wagen sind hinter einander an einer Kette befestigt, so dafs die Maschine beim Anlassen erst sich selbst und dann stets einen folgenden Wagen

---

1 Vergl. *Dampfmaschine; einzelne Theile; Steuerung.*

2 Nach der Beschreibung in Boucsis befindet sich noch ein Hahn am untern Theile des Stiefels, welcher den Dampf unter dem Stiefel ableitet. Höchst wahrscheinlich ist aber der Hahn ein doppelt durchbohrter (four-way-cock) welcher den Dampf zugleich unter und über den Embolus leitet und auch ableitet. Vergl. *Dampfmaschine.*

in Bewegung setzt, bis sie alle im Gange sind. Nach dem Abladen derselben müſste die Maschine umgedrehet werden. Weil sie aber hierzu zu schwer ist, so kehrt man ihre Bewegung um, indem man den Embolus halb in die Höhe steigen, dann wieder niedergehen läſst, wodurch die Bewegung der Kurbeln nach entgegengesetzter Richtung erfolgt. Hierbei schiebt sie die leeren Wagen vor sich her.

Einige Verbesserungen der Dampfwagen sind neuerdings durch GRIFFITH angegeben, und ist ihm darauf ein Patent ertheilt [1], andere Vorschläge, diese bewegenden Maschinen leichter und allgemeiner brauchbar zu machen, sind durch BURSTALL und WILT bekannt gemacht [2], auch hat man nach öffentlichen Nachrichten neuerdings einige Versuche zu Killingworth angestellt, welche befriedigendere Resultate gegeben haben, als die früheren. Die Maschine nebst den Wagen mit groſsen Lasten beschwert, legte 7 bis 9 engl. Meilen in einer Stunde zurück [3].

Die neueste und nicht unwesentlich veränderte Construction der Dampfwagen ist diejenige, welche TIMOTHEUS BURSTALL und JOHN HILL erfunden, und worauf sie ein Patent genommen haben [4]. Sie weicht von der mitgetheilten älteren in so fern ab, als die Wagen keine gezahnte Räder haben, also nicht zum Schleppen anderer Lastwagen bestimmt sind, sondern selbst als Kutschen zum Transporte der Reisenden dienen sollen. Die Maschine darf daher weit weniger kräftig seyn, zugleich aber ist ein Behälter mit Wasser damit verbunden, welcher luftdicht ist, und aus welchem das erforderliche Wasser zum Nachfüllen des Kessels vermittelst Luftdruckpumpen in der letzteren gepreſst wird. Wesentlicher aber ist ein Mechanismus, durch welchen die Maschinerie des Wagens abgestellt werden kann, und dieser beim Bergabgehen bloſs seiner eigenen Schwere folgt, mit hinlänglichen Sicherungsmitteln, daſs dieses ohne Gefahr

1 Lond. Journ. of Arts and Sc. Nro. XXVIII. 1.

2 Edinb. Phil. Journ. XXIV. 418.

3 Bibl. univ. XXVIII. 153.

4 Edinb. Phil. Journal XIII. 349. Genaue Nachrichten über den Erfolg der Versuche mit dieser Maschine sind im Augenblick des Abdrucks dieses Artikels noch nicht bekannt. Im Allgemeinen heiſst es, daſs sie sehr gut gelungen seyn sollen.

geschieht, während welcher Zeit indefs die Hitze des Dampfes von 250° F. bis auf 600 und selbst 800° F. (von 96,89 R. bis 252,44 und selbst 341,83 R.) steigen kann, um so viel gröfsere Gewalt beim nächstfolgenden Bergauffahren zu gewinnen. Die Maschine gehört diesemnach unter die von hohem Drucke, und hat für einen gewöhnlichen Wagen eine Kraft von 10 Pferden. Sehr sinnreich ist hierbei der unvermeidlichen Erschütterung vorgebeugt, indem der Kessel in Federn hängt, das Rohr aber, welches den Dampf zum Cylinder führt, einigemale schneckenartig gewunden, und daher für dieses Bedürfnifs genügend elastisch ist.

Uebrigens ist die Construction so einfach, dafs die Beschreibung derselben nach ihren wesentlichen Theilen selbst ohne Zeichnung bei gehöriger Kenntnifs der Dampfmaschinen verstanden werden kann, und hier einigen Raum finden möge, weil die ganze Einrichtung in dieser Art allerdings eine praktisch nützliche Anwendung verspricht. Der Dampfkessel mit der Feuerung und dem Schornsteine befindet sich hinter der Hinteraxe des Wagens, die zwei Stiefel sind vor und in paralleler Richtung mit derselben lothrecht stehend angebracht. Hierdurch kommen die Stangen, welche lothrecht herabgehen, und die Hinterräder durch Kurbeln unmittelbar bewegen, gerade über die Räder, wo sie an den Balancieren befestigt sind, deren Bewegung durch die vertical auf und niedersteigenden Kolbenstangen bewirkt wird. Für gewöhnliches Fahren in der Ebene oder bei mäfsigem Ansteigen des Weges werden blofs die Hinterräder umgedrehet, welche gröfser und ungleich mehr beschwert sind, als die Vorderräder, für steilere Wege aber wird gegen ein durch die Axe der Hinterräder umgetriebenes gezahntes Rad ein anderes gezahntes gedrückt, welches einen Baum mit einem Rade umtreibt, und durch letzteres vermittelst einer Welle die Vorderräder mit einer ihrer kleineren Peripherie proportionalen gröfseren Geschwindigkeit. Dieser Mechanismus ist zwar sehr sinnreich und künstlich unter dem Wagen angebracht, scheint mir aber ganz überflüssig, weil man sicher keinen Berg hinanfahren kann, dessen Steilheit nicht durch die Reibung beider Hinterräder überwunden werden könnte, wie sich auch erforderlichen Falls durch eine Berechnung leicht darthun liefse. Unter dem Wagen ist das Wassergefäfs befind-

lich, der Kutschenkasten hängt zwischen den Hinter- und Vorderrädern in Riemen, welche durch Federn straff gezogen sind, und ist mit einem über die Vorderräder ragenden Vorbau für Passagiere versehen. Auf einem vor dem Wagen auf einer lothrechten Säule befestigten Bocke endlich sitzt der Lenker, welcher die der Krümmung des Weges angemessene Drehung der Axe der Vorderräder und die Stellung derjenigen Hähne besorgt, vermittelst deren mehr oder weniger Dampf zugelassen und der ganze Mechanismus zum Stillstande gebracht wird. Daſs übrigens die Maschine Selbststeuerung habe, versteht sich wohl von selbst. *M.*

Dasymeter.

Mit diesem Namen (Dichtigkeitsmesser) bezeichnete Depouchy ein von ihm angegebenes Instrument, um die veränderliche Dichtigkeit der Luft zu messen. Der Name ist vom Griechischen δασύς hergeleitet, das eigentlich *dicht besetzt*, *buschig* bezeichnet, und also nicht wohl auf die Dichtigkeit eines Fluidums angewandt werden kann; die Sache selbst ist im Grunde nichts anderes, als das *Guerike'sche Manometer*, eine Glaskugel an einem Waagebalken als Luftwaage, und soll daher unter dem vom ersten Erfinder angegebenen Namen *Manometer* betrachtet werden. *M.*

Declination. S. Abweichung.

Declinatorium. S. Abweichung der Magnetnadel. u. Compaſs.

Dehnbarkeit.

Streckbarkeit, Zähigkeit, Geschmeidigkeit, Ductilität; *Ductilitas;* Ductilité; *Ductility.* Hiermit bezeichnet man diejenige Eigenschaft verschiedener Körper, vermöge deren sie bei angewandter äuſserer Gewalt ihre Form ändern, ohne zu zerreiſsen. Sie steht nicht sowohl der *Härte* entgegen, indem vielmehr manche harte Körper, z. B. Stahl, Kupfer, Platin und andere Metalle allerdings hart, und dennoch sehr dehnbar sind, als vielmehr der *Sprödigkeit*, indem spröde Körper keine Veränderung ihrer Form annehmen, sondern zerspringen. Nehmen die Körper nach aufhörender

Einwirkung der sie ausdehnenden Kraft ihre vorige Gestalt wieder an, so nennt man sie elastisch. *Dehnbarkeit* und *Elasticität* sind hiernach also verschieden, und es giebt Körper, z. B. kaltes Glas, welche sehr elastisch, aber gar nicht dehnbar sind. Unter den angegebenen Synonymen bezeichnet eigentlich dem Sprachgebrauche nach das Wort *Zähigkeit*; *Tenacitas*; Tenacité; *Tenacity* diese Eigenschaft am bestimmtesten und wird auch im gemeinen Leben am meisten gebraucht; in wissenschaftlicher Beziehung aber und rücksichtlich der Anwendung auf Technologie und Maschinenwesen zeigt sich die zu untersuchende Eigenschaft der Körper vorzüglich dann, wenn dieselben *gedehnt* und *gestreckt* werden, namentlich in den zahllosen Fällen des Drahtziehens und bei der Bereitung der Folien, weswegen dieselbe unter dem gewählten Namen am füglichsten betrachtet werden kann.

Die genannte Eigenschaft ist den verschiedenen Körpern unter sehr ungleichen Bedingungen mehr oder minder eigen; überhaupt aber gehört sie unter die sogenannten *relativen Eigenschaften* der Körper, welche der Materie nicht allgemein und absolut zukommen, sondern den verschiedenen Körpern in sehr ungleichem Grade eigen sind, indem diese von den sprödesten zu den minder spröden und wenig dehnbaren bis zu den dehnbarsten übergehen. Im Allgemeinen, wiewohl nicht ohne Ausnahme, macht die Wärme weniger spröde, und viele Körper erhalten diese Eigenschaft durch einen Zusatz von Feuchtigkeit. Einige Körper, namentlich Metalle, insbesondere Platin, Gold, Silber, Messing, Kupfer, Zinn, Blei und Eisen sind *unter allen Bedingungen* dehnbar, und besitzen diese Eigenschaft überhaupt in einem sehr hohen Grade, andere sind entweder überhaupt, oder mindestens bei *mittlerer Temperatur* gar nicht dehnbar, als Zink, Wismuth, Arsenik, Glas u. a. manche werden in *etwas erhöheter Temperatur* dehnbar, als Schellack, Wachs und Zink, noch andere *in einer Hitze, welche sie fast schmelzen macht*, z. B. Glas, dagegen werden Messing und Zinn in *einer ihren Schmelzpuncten nahen Hitze* spröde und brüchig. Gummi, Eiweiſs, thierischer Leim, viele Pflanzenstoffe, so wie auch die Thonerde werden *durch Feuchtigkeit* dehnbar, und lassen sich oft zu den allerfeinsten, beim Austrocknen erhärtenden Fäden ausspinnen. Im Allge-

meinen endlich sind die *reinen* Körper dehnbarer als die *gemischten*; jedoch zeigt sich auch hierbei zuweilen eine merkwürdige Abweichung von dem, was man billig vermuthen sollte. So giebt das dehnbare Kupfer mit dehnbarem Zinn ein sprödes Metall, die sogenannte Glockenspeise und ein gutes Spiegelmetall, je nach dem quantitativen Verhältnisse beider Bestandtheile, mit dem an sich spröden Zink aber das sehr dehnbare Messing. Merkwürdig ist in dieser Hinsicht ferner das Verhalten des *Eisens*. Im reinen Zustande ist dasselbe als sogenanntes *weiches Schmiedeeisen* sehr zähe und dehnbar, mit etwas Kohlenstoff als *Stahl* zwar härter, aber dennoch höchst zähe und dehnbar, wenn es nicht durch Härten spröde geworden ist, mit mehr Kohlenstoff verbunden als *Roheisen* oder *Gufseisen* ist dasselbe in niederer und hoher Temperatur, mehr jedoch in der ersteren, spröde in einem nach dem Mischungsverhältnisse der Bestandtheile höheren oder geringeren Grade, wird durch einen Zusatz von Phosphor in niederen Temperatur spröde und brüchig (*kaltbrüchiges Eisen*), durch einen geringen Zusatz von Schwefel aber im kalten Zustande zwar minder streckbar, in der Rothglühhitze aber sehr spröde, so dafs es sich nur schwer oder gar nicht verarbeiten läfst, und unter dem Namen des *rothbrüchigen* nicht sonderlich geachtet ist [1], der übrigen vielfachen Mischungen dieses Metalles und der durch die zugesetzten Bestandtheile veränderten Eigenschaften desselben nicht zu gedenken. Indem dieses Allgemeinere aber als bekannt vorausgesetzt werden kann, so wird es am zweckmäfsigsten seyn, die genannte Eigenschaft der Körper an einigen vorzüglich interessanten Beispielen näher zu erläutern.

Insbesondere hat das *Gold* wegen seiner ausgezeichneten Dehnbarkeit, wenn es unter dem Hammer der Goldschläger und zwischen stählernen Walzen zu dünnen Platten ausgedehnt wird, welche zum Vergolden dienen, so wie wegen seiner

---

1 Vergl. Prechtl Grundlehren der Chemie in technischer Beziehung. Wien 1815. II vol. 8. II. 120.

2 Man schlug schon in Rom das Gold zu den dünnsten Blättern. Plin. H. N. XXXIII. 3. welche Lucrez IV. 730. mit einem Spinnengewebe und Martial VIII. 33. mit einem Nebel vergleicht.

[Stre]ckbarkeit, wenn man dasselbe im Zieheisen der Drahtzieher [zu] dem feinsten Drahte streckt, von jeher die Aufmerksamkeit [un]d Bewunderung der Naturforscher erregt. MERSENNE, Ro-[HA]ULT, HALLEY[1] u. a. haben hierüber Berechnungen angestellt, [in]dem sie sich auf diejenigen Thatsachen beschränkten, welche [au]s den Angaben der Künstler hervorgingen. Genauere Ver-[su]che hierüber stellte indefs RÉAUMÜR an[2]. Er fand, dafs bei [ge]wöhnlichem Blattgold 1 Gran dieses Metalles zu 86,5 Qua-[dra]tzollen ausgedehnt, und eine einzige Unze, welche als Wür-[fe]l keinen halben Zoll Seite (genauer 5,1964 Par. Lin.) hat, [au]f diese Weise in eine Fläche von 146,5 Quad. F. ausgetrieben [w]ird.

Bei weitem stärker zeigt sich die Ductilität des Goldes bei [de]r Verfertigung derjenigen Drähte, welche zu den Lyoner [T]ressen verwandt werden. Diese, wie aller gemeiner soge-[na]nnter *Golddraht* bestehen aus Silberdrahte mit einem Ueber-[zu]ge von Gold. Man nimmt hierzu eine Stange Silber 15 Lin. [i]m Durchmesser und 22 Z. lang, 45 Mark an Gewicht betra-[ge]nd, und überzieht sie mit einer Unze Gold, zieht sie dann [au]f die bekannte Weise vermittelst des Drahtzieheisens zu stets [fe]inerem Drahte, welcher überall mit einem dünnen Ueberzuge [v]on Gold bedeckt ist. Durch genaue Abwägungen und Mes-[su]ngen fand RÉAUMÜR, dafs eine Unze des Drahtes 3232 F. [l]ang war, und somit die Länge des Ganzen 1163520 Par. F. [b]etrug. Solcher Draht wird dann um Seide gesponnen, und [de]swegen vorher zwischen zwei polirten Stahlwalzen platt ge-[d]rückt, wodurch seine Länge um $\frac{1}{7}$tel wächst, somit also 1329797 Par. F. oder nahe 60 geogr. Meil. beträgt. Ein solcher flacher Faden hat die Breite von $\frac{1}{8}$ Lin. und eine Dicke von $\frac{1}{1572}$stel Lin., wonach die Unze Gold zu einer Fläche von 2308 Quadratfufs ausgedehnt ist, wenn man beide Flächen des platten Drahtes rechnet. Indem aber die Fläche einer Unze Goldes als Würfel von 5,1964 Lin. Seite nach der oben stehenden Angabe nur 27 Quadratlinien oder 0,0013022 Quadratfufs beträgt, so war sie in der Fläche des Drahtes 1772890 mal enthalten,

1 Phil. Trans. IV. 194. XVI. 540.

2 Mém. de l'Acad. 1713. 199.

und die Dicke des Goldes konnte sonach nicht mehr als den 341100sten Theil einer Par. Linie betragen, die Vergoldung der scharfen Seiten nicht mitgerechnet. Réaumür giebt daher die Dicke des Goldes zu $\frac{1}{345840}$ Par. Lin. an, und da die Dicke unmöglich an allen Stellen gleich seyn kann, an den dünnesten nach Schätzung nur zu $\frac{1}{500000}$ einer Par. Linie. Dennoch kann man nicht annehmen, es sey dieses eine nicht zusammenhängende Fläche, indem auch das beste Mikroskop keine Oeffnung zu entdecken vermag [1].

Neuerdings hat man die ausnehmende Dehnbarkeit des *Platins* durch Wollaston an dem durch ihn verfertigten und nach ihm benannten *Wollaston'schen Platindrahte* erkannt [2]. Er nahm zur Verfertigung desselben eine cylindrische Form von $\frac{1}{3}$ Z. Weite, befestigte in ihrer Axe einen Platindraht von 0,01 Z. Dicke, und goſs die Form mit Silber aus. Der so erhaltene Silberdraht wurde vermittelst des Drahtzieheisens bis zu $\frac{1}{30}$ Zoll Feinheit gezogen, wonach der Platindraht nicht mehr als 0,001 Z. Dicke haben konnte. Durch fortgesetztes Ziehen des Silberdrahtes wurde die Dicke des darin enthaltenen Platindrahtes fortwährend gleichfalls bis $\frac{1}{4000}$ und $\frac{1}{5000}$ eines Zolles vermindert, und dieses läſst sich noch weit über die angegebenen Grenzen hinaus fortsetzen. Indeſs hält das Platin dieses Verfahren bei weitem nicht bis zu derjenigen Grenze aus, wie das Gold nach den oben angegebenen Versuchen, denn als Wollaston Draht bis zur Feinheit von $\frac{1}{30000}$ Zoll auszog, fand er ihn nicht mehr überall zusammenhängend, sondern stellenweise unterbrochen, auf welche Mangelhaftigkeit man bei dem sehr feinen Drahte dieser Art stets gefaſst seyn muſs. Gewöhnlich verfertigt man solchen Platindraht daher nur bis zur Feinheit von $\frac{1}{6000}$^{stel} Zoll, und weil er auch dann nur schwer sichtbar und für sich kaum zu halten ist, so biegt man das zum Gebrauche bestimmte, noch mit Silber überkleidete Ende in die Gestalt eines umgekehrten Hebers (U), faſst die oberen Enden und taucht das untere in Salpetersäure, bis

1 Vergl. Hutton Dict. I. 436.

2 Phil. Trans. 1813. daraus bei G. LII. 284.

das Silber verzehrt ist, und der Platindraht für sich zurück bleibt [1].

Obgleich indeſs solcher Platindraht seit jener ersten Erfindung von vielen Künstlern verfertigt wird, so bleibt das Verfahren doch in gewisser Hinsicht stets etwas unsicher. Einen Silberdraht genau in der Axe und ohne Wellen zu durchbohren, ist schwierig; den Platindraht in der Axe einer cylindrischen Form zu befestigen, so daſs er auch beim Umgieſsen des Silbers unverrückt darin bleibt, ist nur mit groſser Mühe oder überall kaum zu bewerkstelligen. Auſserdem darf man keinen zu dicken Platindraht nehmen, weil man sonst von seiner Festigkeit nicht überzeugt ist und er Fehlstellen haben kann, an denen er leicht reiſst, die Dicke des feineren ist aber an sich mit völliger Schärfe schwer zu bestimmen, überhaupt aber kann man bei diesem Verfahren nie gewiſs wissen, an wie vielen Stellen der Platindraht gerissen ist, und der Silberdraht daher ohne ihn fortwährend feiner gezogen wird. Ob hierbei ein wiederholtes Erhitzen den Platindraht geschmeidiger machen und die Dehnbarkeit desselben vergröſsern werde, kann ich aus Mangel an Erfahrung nicht angeben. Inzwischen ist der Draht, wenn seine Feinheit nicht bis über $\frac{1}{6000}$ eines Zolles hinausgeht, mit Ausnahme sehr weniger Stellen, in der Regel unversehrt, und die, wenn gleich unterbrochenen, doch immer in einzelnen Stücken vorhandenen Enden des bis zu weit gröſserer Feinheit, selbst bis zu $\frac{1}{30000}$ eines Zolles gezogenen Platindrahtes beweisen auf allen Fall die ungemein groſse Dehnbarkeit dieses Metalles [2]. Diese geht indeſs auch aus dem feinen Ueberzuge

---

1 Prony bei G. LII. 332. will den englischen auf diese Weise verfertigten Platindraht bedeutend dicker gefunden haben, als hier angegeben wird. Indem aber die Verfertigungsart nicht füglich einen so groben Fehler zuläſst, die Messung aber einen so höchst feinen, für sich kaum sichtbaren und schwer zu handhabenden Draht leicht feiner als dicker zeigt, so ist zu vermuthen, daſs Prony denselben von seinem Silber gar nicht, oder nur unvollkommen befreiet hat.

2 Altmütter bei G. LVIII. 436. findet Wollaston's Abhandlung für den Praktiker auch in Rücksicht auf die Berechnung geradezu lächerlich, ohne die Gründe dieses Urtheils anzugeben. Gegen die Rechnung läſst sich wohl nicht füglich etwas einwenden, wenn anders die angegebenen Gröſsen genau gemessen sind. Vergl. Gilbert Ann. LIV.

hervor, womit manche französische Tassen und sonstige Porzellan-Gefäſse überzogen sind, indem hierbei das Platin in gleicher Feinheit, als das Gold bei den Vergoldungen angewandt wird, ohne indeſs im eigentlichsten Sinne ausgedehnt oder gestreckt zu seyn, insofern man den dünnen, jedoch zusammenhängenden und metallisch glänzenden Ueberzug aus einer Auflösung des Metalles bereitet.

Die Dehnbarkeit des *Silbers, Kupfers, Zinn's, Blei's* ersieht man aus der Feinheit der dünnen Blättchen, wozu dieselben im Blattsilber oder Silberschaum, dem unächten Goldschaum, dem Blattzinn oder Stanniol und Rollblei verarbeitet werden. Auch der ausnehmend feine Silberdraht, woraus manche Kreuze in Fernröhre gemacht werden, die feinsten messingenen und stählernen Claviersaiten zeugen für die groſse Dehnbarkeit dieser Metalle. Eins der merkwürdigsten unter allen ist indeſs das *Zink.* Obgleich bei einer Temperatur unter der Siedehitze des Wassers so spröde, daſs es unter dem Hammer zerspringt und sich pulvern läſst, wird es nach Ch. Hobson und Ch. Sylvester [1] zwischen 100° bis 150° C. so dehnbar, daſs man es bis zu den feinsten Blechen, wie feinstes Postpapier, walzt, und was noch merkwürdiger ist, so einmal gewalzt behält es einen hohen Grad der Elasticität und Biegsamkeit auch bei niedrigen Temperaturen bei. Wird indeſs gegossenes Zink bis 205° C. erhitzt, so ist es noch spröder als bei einer Wärme unter dem Siedepuncte, indem man es dann in einem Mörser zu Pulver zerstoſsen kann. Eben so auffallend ist es, daſs Altmütter dieses Metall, welches auf dem Bruche ein so auffallend krystallinisches Gefüge zeigt, zu sehr feinem Drahte zu ziehen vermochte, und dieses Feinziehen sogar ohne erneuertes Anlassen und erhöhete Temperatur bewerkstelligte [2]. Die Feinheit der erhaltenen Probe giebt Gilbert ohne völlig scharfe Messung zu $\frac{1}{240}$stel Zoll an [3].

22. Sinnreich und zweckmäſsig ist indeſs das von Altmütter gewählte Verfahren, den Platindraht fortwährend mit neuen Lagen von Silberblech zu umgeben, und vermittelst dessen das Feinerziehen desselben möglich zu machen.

1 Nicholson's J. XI. 304. Gehlen N. J. VI. 728.

2 G. LVIII. 436.

3 Ebend.

Die Dehnbarkeit des Glases, welche vielleicht nicht hinter der des Goldes und Platin's zurückbliebe, wenn dieser Körper eine gleiche Cohäsion hätte, als jene Metalle, und die feinsten Fäden desselben sich ohne zu zerreifsen noch ferner dehnen liefsen, ist um so viel merkwürdiger, je spröder dieser Körper in den Temperaturen unter der Rothglühhitze ist. Dafs die geschmolzene und noch glühende Glasmasse als eine zähe Substanz dehnbar sey und alle möglichen Formen annehme, ist bekannt, eben wie die vielfachen physikalischen und chemischen Apparate, welche in den mannigfaltigsten Formen theils auf den Glashütten, theils vermittelst der Blaslampe hieraus verfertigt werden. Unter die wunderbarsten Stücke dieser Art gehören indefs die sogenannten *Glasfäden*, welche man an der Lampe in höchster Feinheit zu spinnen vermag. Man nimmt hierzu beliebige Stücke von Glasröhren, am besten schmale Streifen Fensterglas, kann indefs auch sogenanntes weifses Beinglas, oder dunkel gefärbte Glassorten, als mit Goldpurpur gefärbtes rothes oder mit Kupfer gefärbtes dunkelgrünes, oder mit Schmalte gefärbtes dunkelblaues und andere Arten nehmen, in welchem Falle man zwar hell aber kenntlich gefärbte, angenehm glänzende Glasfäden erhält. So giebt das dunkelrothe Glas licht rosa, das dunkelgrüne hell bläulich grüne, das dunkelblaue sehr hellblaue und dunkelbraunes hell goldgelbe Fäden; das weifse Glas giebt weifse, mit Perlmutterfarbe glänzende Fäden. Die letzteren pflegte man früher von der Dicke etwa eines Menschenhaares zu spinnen, und in der Länge von 5 bis 7 Zoll in Büschel von der Dicke eines Fingers zu einem federartigen, allerdings schönen, Schmucke für die Hüte der Kinder und Damen zu vereinigen. Weil aber diese Fäden zum Theil unter Umständen brechen, und kleine Spitzen herabfallen lassen, welche für die Augen höchst gefährlich sind, so hat man sie unlängst abgeschafft, und gebraucht sie nur noch auf den Theatern. Weit seltener waren die Perrücken, welche man aus den weifsen Fäden verfertigte, indem man sie in kleine Bündelchen band, diese zu Locken umbog und zu einer solchen Kopfbedeckung vereinigte, welche in so fern grofse Bequemlichkeit darbot, als sie keiner Veränderung der Kräuse und der Farbe unterlag, übrigens aber nicht wenig kostbar seyn mufste. Gegenwärtig findet man einzelne Locken dieser Art noch als Rarität in den

Cabinetten oder in Trödelboutiken. Réaumür [1] vermuthete, die Biegsamkeit solcher Fäden nähme mit ihrer Feinheit zu, und würde zuletzt eben so groſs seyn als die der Seide, so daſs man Zeuge daraus zu weben vermögend seyn müsse, wenn man sie von gleicher Feinheit als Spinnefäden oder einfache Coconfäden zu bereiten im Stande wäre. Daſs sie sich indeſs bei gleicher Feinheit zu Geweben nicht eignen würden, folgt daraus, weil sie bei weitem die hierzu erforderliche Stärke nicht haben, indem die Cohäsion des Glases die der Seide oder Spinnengewebe keineswegs erreicht. Von dem geübten Glasbläser Hermann aus Freiburg im Breisgau habe ich nämlich einige solche farbige Gespinnste von ausgesuchter Feinheit erhalten, wovon die feinsten Fäden wie die Spinnenfäden durch den bloſsen Luftzug bewegt werden, auch geht die Dicke derselben nach mikroskopischen Untersuchungen nicht über die eines gewöhnlichen Fadens aus dem Gespinnste einer groſsen Kreuzspinne hinaus, ist aber ungleich weniger haltbar. Bei ebendemselben habe ich auch eine Mütze aus Glasfäden gesehen, welche aus einzelnen Streifen derselben geflochten war, sich vollkommen biegsam, wie von weichem Zeuge verfertigt, zeigte, mit Seifenwasser gebürstet und gewaschen werden konnte, und wegen genügender Zartheit der einzelnen Fäden den Augen keine Gefahr drohete, indem sie zu fein und biegsam waren, um zerknickt zu werden oder als kurze Enden zu stechen.

Die Art der Verfertigung ist eben so leicht als einfach, sobald man sich im Besitze einer guten Blaslampe befindet. An dem Blastische selbst, oder neben demselben feststehend, befindet sich eine Trommel, deren äuſserer Rand von Holz oder Pappe seyn kann, aber so eingerichtet seyn muſs, daſs er sich zusammenlegen, uud das darauf ausgespannte Gespinnst dann frei herabnehmen läſst, um nicht zu zerreiſsen. An der Axe dieser leichten Trommel befindet sich ein Getriebe, worin ein gezahntes Rad eingreift, und die nicht mehr als etwa 12 bis 15 Z. im Durchmesser haltende Trommel in gröſster Geschwindigkeit umtreibt, denn je schneller dieses geschieht, um so viel feiner werden die Fäden. Gut ist es bei der Unmöglichkeit, die

---

1 a. a. O.

Umläufe der Trommel zu zählen, wenn man noch außerdem einen Mechanismus anbringt, welcher bei hundert Umdrehungen gegen eine Glocke schlägt, oder auf eine andere Weise die Zahl der Umdrehungen mechanisch zählt. Auf der Trommel ist ein Zwirnsfaden von etwa zwei Fuſs Länge befestigt, mit einem angebundenen kleinen Glasstückchen. Man hält alsdann das zu Fäden auszuspinnende Glasstückchen in die Flamme der Blaslampe, schmelzt an das erweichte Ende das Glasknöpfchen am Zwirnsfaden, und indem man demnächst die Trommel schnell umlaufen läſst, spinnt man das Glas in gröſster Feinheit, etwa in 30 Secunden 1000 Umgebungen der Trommel, wozu indeſs allerdings groſse Uebung und Fertigkeit gehört. Es hat mir zuweilen geschienen, als ob die Fäden stellenweise gespalten oder doppelt wären, jedoch muſs ich dieses als ungewiſs dahin gestellt seyn lassen.

Man will früher gefunden haben, daſs die auf ähnliche Weise gesponnenen Glasfäden nicht völlig rund seyen, sondern daſs ihr Durchschnitt ein abgeplattetes Oval bilde, dessen längere Axe die kürzere 3 bis 4mal übertreffe [1]. Nach den wenigen mit sehr feinen Fäden von mir angestellten mikroskopischen Untersuchungen muſs ich diese Behauptung in Zweifel ziehen, welche sich vermuthlich auf eine einzelne oder wenige, mit einem zufällig so gestalteten Glasfaden angestellte, Beobachtungen bezieht. Auſserdem steht dieselbe im Widerspruche mit demjenigen, was neuerdings Deuchar [2] gefunden haben will. Dieser hat nämlich solche Fäden untersucht, ihre Feinheit auſserordentlich gefunden, so daſs ihr Durchmesser kaum 0,3 des Durchmessers eines Menschenhaares von mittlerer Dicke ausmacht, zugleich aber will er beobachtet haben, daſs sie allezeit die Form des Glases beibehielten, aus welchem sie gesponnen wurden. War dasselbe demnach eine Röhre, so soll auch der Glasfaden eine Röhre, wenn auch eine noch so enge seyn, wovon er sich überzeugte, als er solche Glasfäden unter Wasser legte und exantlirte [3]; und auf gleiche Weise soll aus einem Par-

---

1 Brisson Dict. rais. de Phys. art. Ductilité. Ihm folgt Gehler I. 571.

2 Ann. of Phil. 1822. Nov. 358.

3 Es scheint mir nach meinen Erfahrungen unmöglich, solche fei-

allelepipedon, einem dreiseitigen Prisma oder einer auf solche Weise mit Hervorragungen geformten Stange, wie die Stahlstäbe sind, woraus die Getriebe in den Uhren verfertigt werden, ein Glasfaden hervorgehen, welcher auch bei gröfster Feinheit diese Form völlig beibehält; endlich sollen auch selbst die Farben, wenn deren verschiedene vereinigt gesponnen werden, in den feinsten Glasfäden noch einzeln sichtbar seyn. Es läfst sich für diese Behauptung allerdings anführen, dafs man auf gleiche Weise flache Glasröhren mit einem gleichfalls flachen innern Raume verfertigt, indem man eine runde Glasmasse mit einer runden Höhlung auf einem Ambos platt klopft und dann zu Röhren auszieht; auch behalten sehr fein ausgezogene Glasröhren in der Regel ihre, wenn auch sehr enge, Höhlung bei. Auf der andern Seite aber ist Letzteres nicht allezeit der Fall, indem oftmals, insbesondere bei stärkerer Hitze, die Höhlung zugeschmolzen wird, welches schon gegen Deuchar zeugt, und aufserdem scheint es fast unmöglich, dafs aus einer geschmolzenen Glasmasse, woraus die Fäden gesponnen werden, letztere in der ursprünglichen Gestalt des angewandten Glasstückchens hervorgehen sollten, da nach beendigter Operation das Ende des gebrauchten Stückes zu einem in eine Spitze auslaufenden Kegel zusammengeschmolzen erscheint.

Ein interessantes Beispiel der Dehnbarkeit des Glases zeigt sich, wenn man eine nicht zu enge Glasröhre an einem Ende zuschmelzt, vermittelst der Blaslampe zu einer mäfsigen Kugel aufbläfst, diese abermals hinlänglich glühend macht, und so stark aufbläfst, dafs sie platzt, wodurch einzelne Theile derselben so dünn werden, dafs sie das bekannte Farbenspiel dünner Blättchen zeigen, und wie eine Pflaumfeder durch den Luftzug in die Höhe gehoben werden.

Unter den weichen, durch ihre Dehnbarkeit ausgezeichneten Stoffen ist das Gewebe der Spinne merkwürdig, und erhält seine grofse Biegsamkeit höchst wahrscheinlich gleichfalls durch seine aufserordentliche Feinheit. Die Masse, woraus der *Spinnefaden* gesponnen wird, ist ein klebriger Saft, welcher

---

ne, mit Luft erfüllte, Röhrchen zu erhalten, als ich die Glasfäden kenne.

[...]nf Warzen am Hintertheile der Spinnen enthalten ist, und [...]inem feinen Faden ausgezogen an der Luft erhärtet, ohne [...]e Dehnbarkeit gänzlich zu verlieren, denn ein solcher läſst [...] mit gehöriger Vorsicht fast bis zur doppelten Länge aus[...]en, und zieht sich bei nachlassender Spannung völlig wie[...]u seiner vorigen Länge zusammen [1], verliert indeſs mit der [...], wahrscheinlich wegen allmäliger Austrocknung, diese aus[...]ichnete Dehnbarkeit und Elasticität. Die Feinheit dieser [...]n geht indeſs ganz ins Unglaubliche. Der klebrige Saft [...]lich kommt aus den genannten fünf Warzen, und vereinigt [...] zu einem einzigen Faden, welcher sich mit Vorsicht wieder [...]ine fünf einzelnen Stränge theilen läſst, wenigstens wenn [...] hierzu einen von einer groſsen Spinne erhaltenen nimmt. [...]eder Warze will man aber gegen 1000 feine Oeffnungen [...]h Vergröſserungsgläser entdeckt haben, aus welchen der [...] quillt, und diesemnach müſste ein einziger Faden aus 5000 [...]elnen Fädchen bestehen, wovon sich indeſs der Beweis aus [...]t begreiflichen Gründen nicht mit völliger Schärfe führen [...]t. Bei kleinen Spinnen, welche die feinsten Fäden liefern, [...] die Warzen noch mit bloſsen Augen nicht sichtbar, woraus [...] unglaubliche Feinheit der einzelnen Theile ſolcher Fäden [...] selbst hervorgeht.

Daſs auch verschiedene vegetabilische Körper sich in un[...]chen Graden dehnbar zeigen, darf als bekannt vorausgesetzt [...]den, ohne daſs es sich der Mühe lohnt, einzelne Beispiele [...]von anzuführen.

Man hat oft nach der eigentlichen Ursache der Dehnbarkeit [...] Körper gefragt. Berücksichtigt man bloſs das Phänomen an [...], so werden bei der Ausdehnung der Körper ihre Bestand[...]le nur in eine andere Lage gebracht, oder aber die Form [...] Körper wird verändert, ohne die Cohäsion der Theile zu [...]rwinden. Genau genommen kommt also die ganze Frage [...]uf zurück, warum gewisse Körper in einem so ausgezeich-

1. Prevost bei G. XL. 211. Ich selbst habe die Fäden, vorzüg[...] die frischen, zwar dehnbar gefunden, aber nicht in dem angegebe[...] Grade, auch zogen sie sich nicht ganz wieder zu ihrer vorigen Län[...] zusammen. Sonst kann man beim Weben der Kreuzspinnen die gro[...] Elasticität der Fäden am besten beobachten.

neten Grade diese Veränderung der Lage ihrer Theile gestatten, und obendrein auf eine solche Weise, dafs ihre Masse verschwindend klein wird, ohne Aufhebung der Cohäsion. Diese Frage genügend zu beantworten, fehlen uns indefs die erforderlichen Bedingungen. Wir kennen nämlich die Gesetze der Cohäsion blofs in sofern, als wir das Gemeinsame der Erfahrungen zu Regeln, welche für die praktische Anwendung brauchbar sind, vereinigen, ohne über die eigentliche Ursache derselben uns irgend ein Urtheil anmafsen zu können, obgleich wir sie auf die der Materie eigenthümlich zukommende Anziehung zurückführen [1]; noch weit weniger aber kennen wir die Beschaffenheit der einfachen Bestandtheile oder der Elemente der Materie, welche uns nothwendig bekannt seyn müfste, wenn wir uns anmafsen wollten, die Frage genügend zu entscheiden, warum gewisse Körper sich in einem so viel vorzüglicheren Grade dehnbar zeigen als andere. Wir müssen uns also auch hierbei vorläufig mit der Kenntnifs der Erscheinungen begnügen, welche die Erfahrung uns darbietet, bis es uns gelingt, tiefer in das Wesen der Dinge einzudringen. *M.*

Dehnkraft

heifst nach Kant diejenige Grundkraft der Materie, durch deren Conflict mit einer andern Grundkraft, nämlich der *Ziehkraft*, die Existenz der Materie bedingt, und eigentlich erst gegeben wird, indem sie ohne die eine oder die andere derselben überall nicht seyn, nicht bestehen könnte. Manche Anhänger Kant's versuchten es späterhin, aus dem Conflicte dieser beiden Kräfte die meisten oder alle Erscheinungen in der Natur zu erklären, allein weil dieses nicht ohne grofsen und auffallenden Zwang geschehen konnte, und der Gang der Naturphilosophie in Deutschland auch bald eine andere und schnell wechselnde Richtung bei denjenigen nahm, welche sich nicht einfach an die Erfahrung und die unmittelbar aus dieser folgenden Gesetze hielten, so wurden diese Versuche bald wenig beachtet. Indefs wurde noch immer viel von *Grundkräften* geredet, wozu hauptsächlich Dehnkraft mit gehörte, von einer

---

1 S. *Cohäsion*. Vergl. Robison Mech. Phil. I. 385.

Erklärung der Naturerscheinungen aus derselben, und von einem *dynamischen Systeme der Physik.* Abstrahirt man indeſs von dem erwähnten Satze der Kantischen Dynamik, daſs nämlich *Dehnkraft* und *Ziehkraft* zur Existenz der Materie unumgänglich nothwendig erfordert werden, welcher bei den Untersuchungen über das Wesen der Materie, näher geprüft werden muſs, so fällt die Dehnkraft als gleichbedeutend mit der *abstoſsenden Kraft, Repulsivkraft, Abstoſsung* zusammen, welche oben schon untersucht ist.[1] *M.*

Descension. S. Absteigung.

Destillation.

Destillatio; Destillation; *Distillation;* heiſst diejenige Operation, vermöge welcher eine Materie in Dampfform übergeführt, der gebildete Dampf an einem andern Orte durch Erkältung im tropfbarflüssigen Zustand zurückgeführt und so aufgefangen wird. Der Apparat, in welchem diese Operation vorgenommen wird, ist der *Destillationsapparat* oder das *Brennzeug.* Er besteht wesentlich aus 2 Theilen, aus einem, den man relativ wärmer erhält, und in welchem die Verdampfung erfolgt, und aus einem, der eine niedrigere Temperatur besitzt, um die gebildeten Dämpfe zu verdichten. Je nachdem man diese 2 Haupttheile einrichtet, entstehen vorzüglich folgende Verschiedenheiten: Bei der sogenannten *destillatio per descensum* befindet sich die zu erhitzende Materie auf einer Schale oder auf einem durchlöcherten Bleche. Im ersteren Falle ist ein oben verschlossener Cylinder darüber gestülpt, dessen oberer, die Schale enthaltender Theil mit Feuer umgeben wird, während der untere offene Theil in Wasser taucht, durch welches sich die Dämpfe der aus der Schale verflüchtigten Materie (namentlich des Quecksilbers) verdichten. Befindet sich die zu erhitzende Materie auf einem durchlöcherten Bleche, so ist über dieses ein Topf gestülpt, den man mit Feuer umgiebt; die durch die Löcher des Bleches hindurch gehenden Dämpfe gelangen in einen darunter befindlichen kalt gehaltenen Topf, in welchem sie sich verdichten. — Bei der *Destillatio obliqua,*

---

1 Vergl. *Abstoſsung. Materie.*

per latus, *per inclinationem* wird die Materie in der *Retorte* erhitzt, einem mehr oder weniger kugelförmigen, und mit einem schief einmündenden Ausgangsrohre, dem *Halse*, versehenen Gefäfse. Die in der Retorte entwickelten Dämpfe begeben sich durch den Hals entweder unmittelbar in die *Vorlage* oder zwischen beiden befindet sich noch ein in der Mitte bauchförmig erweiterter Canal, der *Vorstoſs*, in welchem die Verdichtung eines groſsen Theiles der Dämpfe erfolgt. — Bei der *destillatio per adscensum* endlich wird die Materie in einem Gefäſse mit weiterer, nach oben gerichteter, Mündung erhitzt. Dieses Gefäſs heiſst bald ein *Kolben* (wenn die Mündung einen etwas längeren und engeren Hals darstellt) bald eine *Blase* (wenn sie kürzer und weiter ist). Auf der Mündung des Kolbens oder der Blase ist der *Helm* befestigt, welcher die Dämpfe aufnimmt, und durch seinen Schnabel in denjenigen Theil des Apparates leitet, in welchem die Erkältung eintreten soll. Bisweilen ist dieses bloſs eine Vorlage; in den meisten Fällen dagegen befindet sich zwischen dem Helmschenkel und der Vorlage irgend ein Abkühlungsapparat, z. B. ein in dem mit kaltem Wasser gefüllten *Kühlfasse* befindliches *Kühlrohr*, welches bald gerade, bald schlangenförmig, bald anders gewunden ist, und oft noch in Erweiterungen übergeht, welche die Abkühlung des Dampfes durch das umgebende Wasser befördern.

Meistens wird die Destillation bei gewöhnlichem Luftdrucke vorgenommen; soll sie hier nicht sehr langsam vor sich gehn, so muſs die Materie auf diejenige Temperatur gebracht werden, bei welcher der entstehende Dampf dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält. Ist der Destillationsapparat dagegen luftleer, so erfolgt die Destillation schon bei niedriger Temperatur sehr rasch, wenn nur die Vorlage kälter ist, als der Ort, in welchem die Materie verdampfen soll. Zwar ist gleichviel Wärme erforderlich, um eine gleiche Quantität der Flüssigkeit als Dampf überzuführen, dieses erfolge in Luft erfülltem Raume bei höherer, oder in luftleerem Raume bei niedriger Temperatur [1]; da jedoch Wärme von geringer Intensität oft ohne Ko-

---

1 S. *Dampf* Th. II. S. 293. ff.

sten erhalten werden kann, z. B. Sonnenwärme, oder die Wärme, die das Wasser des Abkühlungsapparats annimmt, so würde in mehreren Fällen die Destillation im luftleeren Raume vortheilhaft seyn [1]. Die in der Vorlage sich ansammelnde Flüssigkeit ist das *Destillat.*

Die Destillation wird meistens in der Absicht unternommen, um eine flüchtigere Materie von einer minder flüchtigen zu scheiden, welche als sogenanntes *caput mortuum* oder, wenn es eine Flüssigkeit ist, als *Phlegma* in dem Destillirgefässe zurückbleibt. Ist bei der ersten Destillation von Letzterer eine zu grofse Menge mit übergegangen, so nimmt man häufig eine nochmalige Destillation, *Rectification* des Destillats vor, die man unterbricht, sobald die flüchtigere Materie völlig verdampft ist; eine Operation, die mehrmals wiederholt werden kann. Giefst man das Destillat auf den Rückstand des Destillirapparats zurück oder auf frische Materie, und destillirt von Neuem, so ist dies die *Cohobation* [2]. *G.*

Diaphanometer. s. Durchsichtigkeit.

Dichtigkeit.

Dichte; *Densitas;* Densité; *Density;* bezeichnet eine von den sogenannten relativen Eigenschaften der Körper, welche der Lockerheit entgegensteht. Diesemnach nennt man die Körper mehr oder weniger locker, wenig oder mehr und sehr dicht u. s. w.; auch ist bekannt, dafs verschiedene Körper vielfach aus dem einen dieser Zustände in den andern übergehen, wobei allezeit eine Vergleichung mit andern Körpern oder mit einer anderweitigen Beschaffenheit der nämlichen zum Grunde liegt. Wenn schon hieraus hervorgeht, dafs der Ausdruck *Dichtigkeit* nichts *Absolutes*, sondern blofs etwas *Re-*

---

1 Vergl. Smithson Tennant in J. de ph. LXXXIX. 134.

2 Ueber die mannigfaltigen beim Branntweinbrennen empfohlenen Destillirapparate s. unter andern: Gilb. Ann. LXIV. 172 u. 178. Buchner Repertor. VII. 96; IX. 341; XIV. 26 u. 339; Scherer Nord. Annal. I. Anhang II. 66; IV. 394. Dingler polytechn. J. XV. 312; Hermbstädt und Düportal chem. Grunds. der Kunst Branntwein zu brennen. Berl. 1817.

latives bezeichne, so geschieht dieses noch mehr, sobald man die wissenschaftliche Feststellung desselben berücksichtigt. Die Bestimmung der Dichtigkeit eines Körpers beruhet nämlich auf einer Vergleichung der Masse (der wägbaren Bestandtheile, der Elemente) desselben und des Raumes, welchen diese einnehmen, und steht im geraden Verhältnisse der ersteren und im umgekehrten des letzteren. So sagt man ein Körper sey n mal so dicht, wenn er in einem gleich groſsen Raume n mal so viele Masse enthält, als ein anderer, oder wenn bei gleicher Masse beider der Raum, welchen er einnimmt, n mal kleiner ist. Weil man aber hierbei einen bestimmten Körper als Maſs zur Vergleichung annehmen muſs, so hat man hierzu das reine Wasser im Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit gewählt, weil man dieses überall leicht und in gehöriger Reinheit haben kann, mit demselben aber nach hydrostatischen Gesetzen alle übrigen Körper nicht bloſs ohne groſse Schwierigkeiten, sondern auch mit auſserordentlicher Schärfe und Genauigkeit verglichen werden können. Hieraus ergiebt sich aber wiederum, daſs die Dichtigkeit der Körper mit ihrem specifischen Gewichte zusammenfällt [1].

Hierbei ist indeſs Folgendes zu berücksichtigen. Man muſs bei der Bestimmung der Dichtigkeit der Körper wohl unterscheiden, ob dieselbe eine *gleichmäſsige* oder eine *ungleichmäſsige* [2] sey. Das erstere findet statt, wenn in jedem gleich groſsen Raume, welchen die einzelnen Theile eines Körpers einnehmen, gleichviele Massentheilchen desselben enthalten sind, das Letztere, wenn die Menge der Massen in den einzelnen Räumen ungleich vertheilt ist. Die Körper nämlich, sie seyen fest, tropfbar flüssig oder expansibel, bestehen aus gleichartiger Masse oder aus ungleichartigen, mit einander verbundenen, zusammengemengten Bestandtheilen, und in beiden Fällen kann ihre Dichtigkeit gleichmäſsig oder ungleichmäſsig seyn. Im ersteren Falle, wenn die Körper aus homogener

---

1 S. *Gewicht; specifisches.*

2 Dem gewöhnlichen Sprachgebrauche nach nennt man die Körper *gleichförmig* oder *ungleichförmig* dicht. Weil aber keine Form hierbei in Betrachtung kommt, und man auſserdem sagt, die Masse sey *gleichmäſsig* oder *ungleichmäſsig* vertheilt, so habe ich diese Ausdrücke lieber aufnehmen wollen.

Masse bestehen, und überall gleich erwärmt sind, werden sie auch gleichmäſsig dicht seyn, es sey denn, daſs einzelne Theile durch Compression oder durch sonstige Ursachen eine gröſsere Dichtigkeit erhalten haben als andere. So werden Metalldrähte durch das Ziehen auf ihrer Oberfläche dichter [1], Metalle und die einzelnen Theile des Glases durch ungleiches Erkalten mehr oder weniger dicht. In der Regel aber darf man annehmen, daſs völlig gleichartige Körper auch überall gleichmäſsig dicht sind, wenn anders ihre Temperatur überall gleich ist. Weil aber alle Körper durch Wärme ausgedehnt werden, so werden gleiche Mengen der Bestandtheile bei höherer Temperatur einen gröſseren Raum einnehmen, und sonach weniger dicht seyn, auch ist die Ungleichheit allezeit um so viel gröſser, je bedeutender die Ungleichheit der Temperatur der einzelnen Theile ist; letztere aber kann wieder um so viel gröſser seyn, je schlechtere Wärmeleiter die Körper sind, und je stärker sie durch die Wärme ausgedehnt werden. Hauptsächlich auffallend ist daher eine ungleichmäſsige Dichtigkeit bei dem Glase, worauf manche Erscheinungen der Lichtpolarisation beim Durchgange des Lichtes durch ungleich erwärmte, und daher ungleich dichte Glasstücke beruhen, indem zwar das Glas durch Wärme weniger ausgedehnt wird, als Metalle, zugleich aber dieselbe ungleich schlechter in seiner Masse fortleitet; bei weitem am ungleichmäſsigsten aber ist die Dichtigkeit der Flüssigkeiten, sowohl der tropfbaren als auch der expansibelen, weil bei diesen beide Ursachen zusammenwirken, nämlich sowohl die gröſsere Ausdehnung durch Wärme als auch die schlechtere Fortleitung derselben, und indem in gleichartigen Medien die Brechung des Lichtes der Dichtigkeit proportional ist, so werden viele optische Erscheinungen aus dieser ungleichen Brechung erklärbar [2]. Bei gemengten, aus ungleichartigen Theilen zusammengesetzten, Körpern ist die Dichtigkeit der einzelnen Massen oft sehr verschieden, und zwar am auffallendsten, wenn das Ganze aus gröſseren heterogenen Massen zusammengesetzt ist. Beispiele dieser Art geben die grobkörnigen gemengten Gebirgsarten, z. B. der Granit, die Erze mit den Gesteinen,

---

1 Vergl. *Cohäsion; absolute Festigkeit.*

2 Vergl. unter andern *Luftspiegelung.*

worauf sie sitzen, die Vegetabilien, z. B. Bäume in ihren einzelnen Theilen, namentlich der Rinde, dem Splint und dem Stammholze, die thierischen Körper nach ihren Hauptbestandtheilen, den Knochen, dem Muskelfleische, Blute, Fette u. s. w. insbesondere aber die heterogenen Flüssigkeiten, welche bei ihrer Vereinigung sich nicht vermischen. Hauptsächlich aber kommt die ungleichmäſsige Dichtigkeit bei denjenigen Körpern in Betrachtung, deren Masse mehr oder minder groſse Zwischenräume enthält, welche mit tropfbaren oder expansibelen Flüssigkeiten erfüllt sind. Bei der Bestimmung der Dichtigkeit der expansibelen Flüssigkeiten endlich kommt noch derjenige Druck in Betrachtung, durch welchen sie von Auſsen comprimirt werden, indem sie sonst vermöge ihres wesentlichen Charakters der Expansibilität sich bis ins Unmeſsbare ausdehnen, und somit ihre Dichtigkeit ändern.[1].

Bei der Bestimmung der Dichtigkeit der Körper, seyen sie von gleichmäſsiger oder ungleichmäſsiger Dichtigkeit, überall von gleicher oder an den einzelnen Theilen von ungleicher Temperatur, aus gleichartigen oder ungleichartigen Massen zusammengesetzt, sucht man die *mittlere Dichtigkeit* entweder des Ganzen oder der einzelnen Theile. Hierbei giebt entweder das Verfahren, wodurch man überhaupt die Dichtigkeit bestimmt, ihre mittlere Dichtigkeit unmittelbar, z. B. wenn man das spec. Gew. der Erze, der gemengten Gebirgsarten, der Metalllegirungen u. s. w. vermittelst der hydrostatischen Waage findet, oder man sucht die Dichtigkeiten der einzelnen Bestandtheile und findet hieraus, mit Rücksicht auf die Gröſse der einzelnen Massen, die mittlere Dichtigkeit, oder endlich man corrigirt die bekannte Dichtigkeit nach dem gleichfalls bekannten Einflusse der Wärme und des äuſseren Druckes. Wollte man z. B. die mittlere Dichtigkeit einer in einem Gefäſse befindlichen Quantität einer tropfbaren oder expansibelen Flüssigkeit bestimmen, so müſste man die Abwägung bei einer gewissen Temperatur vornehmen, und das gefundene Resultat nach der Ausdehnung derselben durch die Wärme corrigiren, indem man entweder die Temperatur der einzelnen Schichten mäſse, oder

---

1 Vergl. *Luft*.

die mittlere Temperatur des Ganzen vermittelst eines Thermometers bestimmte, dessen Cylinder mit den sämmtlichen Schichten in Berührung seyn müſste, wobei die expansibelen Flüssigkeiten noch eine Correction wegen des Druckes bedürfen, unter welchem sie sich befinden.

Bei der Bestimmung der Dichtigkeiten der Körper werden also, wie oben angegeben ist, die Dichtigkeiten, die Massen (Mengen der schweren Massentheilchen) und die Volumina (die Räume, welche diese Massentheilchen einnehmen) mit einander verglichen, und es sind die Dichtigkeiten zweier Körper den Massen directe, den Räumen aber umgekehrt proportional. Dieses giebt also allgemein, wenn man die Bezeichnungen D und d; M und m; V und v für die Dichtigkeiten, die Massen und die Volumina wählt,

$$D : d = \frac{M}{V} : \frac{m}{v}.$$

oder $D : d = Mv : mV.$

Sind demnach die Massen oder die Gewichte gleich, so ist

$$D : d = v : V,$$

und wenn wiederum die Volumina gleich sind, so ist

$$D : d = M : m,$$

auch folgt hieraus, auf den Fall, wenn man die Massen aus den Dichtigkeiten und Voluminibus berechnen will

$$M : m = DV : dv \text{ und } V : v = \frac{M}{D} : \frac{m}{d}.$$

In allen diesen Formeln aber kann man auch P und p statt M und m setzen, wenn man damit das absolute Gewicht bezeichnet, indem die Massen dem Gewichte deswegen gleich sind, weil alle Materie gleich schwer ist, folglich die gravitirende Masse durch das Gewicht angegeben werden muſs. Sind endlich die verglichenen Körper ähnliche feste Körper, so sind die Volumina derselben den Cubis der Halbmesser bei der Kugelform, oder ähnlich liegender Seiten bei andern Formen proportional, welche Werthe dann statt V und v gesetzt werden können. So ist z. B. für Kugeln vom Halbmesser r und R

$$D : d = Mr^3 : mR^3$$

und wenn $m = 1$ und $r = 1$ genommen wird,

$$D : d = M : R^3; \text{ und für } d = 1 \text{ ist } D = \frac{M}{R^3}.$$

Eine Angabe der Dichtigkeiten der verschiedenen Körper ist überflüssig. Es ist nämlich oben schon erwähnt, daſs man hierbei das Wasser als Einheit annimmt, und sich dessen auch nach hydrostatischen Gesetzen bedient, um die Dichtigkeiten zu finden; woraus folgt, daſs die Dichtigkeit dem specifischen Gewichte gleich ist. Bei tropfbaren Flüssigkeiten ist dieses das einzige zulässige Mittel zur Bestimmung der Dichtigkeit, es sey denn, daſs man ein gleich groſses Gefäſs damit anfüllen, das Gewicht desselben $= p$ suchen, das nämliche Gefäſs voll Wasser gleichfalls wiegen wollte, und dabei letzteres $= p'$ fände, so wäre $d = \frac{p}{p'}$, die Dichtigkeit des Wassers $= 1$ gesetzt. Auf gleiche Weise findet man auch die Dichtigkeiten der expansibelen Flüssigkeiten. Sollen die Dichtigkeiten zweier fester Körper mit einander verglichen werden, deren Volumina genau gemessen werden können, so sucht man die absoluten Gewichte derselben P und p, und hat dann

$$D : d = \frac{P}{V} : \frac{p}{v}.$$

Kennt man aber das absolute Gewicht eines bestimmten Volumens Wassers, z. B. eines Kubikfuſses $= p'$ und man will die Dichtigkeit eines festen Körpers $= D$ bestimmen, die des Wassers $= 1$ gesetzt, so sucht man das absolute Gewicht $= p$, das Volumen desselben in Kubikfuſsmaſse $= v$ und hat dann $D = \frac{p}{vp'}$; woraus, wenn die Volumina gleich sind, $D = \frac{p}{p'}$ wird.

Unter den Körpern, wie sie ohne künstliche Einwirkungen auf der Erde sich finden, sind die dichtesten die Metalle, die dünnsten die Gasarten und Dämpfe; indem die Dichtigkeit der Gase aber von der Temperatur und dem Drucke in einem solchen Grade abhängt, daſs man sie zugleich die dichtesten und auch die dünnsten Substanzen nennen könnte [1], die Dünnheit der Dämpfe mancher Körper aber gar nicht bekannt ist, und die Dichtigkeit der Dämpfe überhaupt selbst im Zustande des Maximums ihrer Dichtigkeit bei abnehmender Temperatur

---

1 S. *Luft*.

über alle Messung geringe wird, so läſst sich nicht füglich eine Vergleichung der Extreme der Dichtigkeiten in der Natur anstellen. Hieraus ergiebt sich von selbst, daſs Substanzen, welche unter gewissen Bedingungen sehr leicht wägbar sind, unter andern viel zu dünn werden, als daſs eine Wägung derselben möglich seyn sollte, und hiernach bleibt es allezeit fraglich, ob die sogenannten Inponderabilien wirklich unwägbar sind oder nicht. Diejenigen Substanzen übrigens, deren Dichtigkeit man wegen des groſsen Unterschiedes unter ihnen gewöhnlich zu vergleichen pflegt, sind das schwerste unter den Metallen, das Platin und die leichteste Gasart, das Wasserstoffgas. Nimmt man die Dichtigkeit des Letzteren gegen atmosphärische Luft, beide bei 0° Temperatur und 28 Z. Barometerstand = 0,0680 : 1, setzt die Dichtigkeit der Luft gegen Wasser = 0,00128308 : 1, die Dichtigkeit des Platins gegen Wasser aber = 21 : 1; so ist die Dichtigkeit des Platin's gegen Wasserstoffgas unter den angegebenen Bedingungen = 240688 : 1. Auch hieraus ergiebt sich, daſs Körper, welche in einem gleichen Verhältnisse der Dichtigkeit zum Wasserstoffgas ständen, für unsere Waagen unwägbar seyn müſsten.

Ueber das eigentliche Wesen und die Endursache der Dichtigkeit etwas ausmachen zu wollen, oder anzugeben, warum gewissen Substanzen eine gröſsere Dichtigkeit eigenthümlich ist als andern, liegt ganz auſser unserer Befugniſs, indem wir weder die Elemente der Körper noch die Ursache ihres Zusammenhanges, viel weniger also des engeren oder lockerern kennen. Absolut dicht ist kein Körper, indem dieses nach unseren Begriffen voraussetzen würde, daſs er durch kein Mittel dichter werden könnte, da wir doch alle uns bekannte Körper durch Entziehung der Wärme an Volumen abnehmen sehen. Diese Rücksicht bewog NEWTON anzunehmen, daſs selbst die dichtesten Körper, als namentlich das Gold, nur eine geringe Quantität Materie und verhältniſsmäſsig eine groſse Menge Poren oder leerer Zwischenräume enthielten [1]. Wenn man indeſs die Wärme als absolut repulsives Princip ansieht [2], und annimmt, daſs die Metalle bei der Verminderung derselben die uns be-

1 Hutton Dict. I. 403.

2 Vergl. *Abstoſsung.*

kannte Zusammenziehung fortwährend befolgen, so müſste sie bei dem absoluten Nullpuncte vollkommen dicht seyn, und es könnte dann ihre Dichtigkeit nicht so ungeheuer vergröſsert seyn, als man nach Newton annehmen müſste, wenn anders der absolute Nullpunct nicht tiefer als bei — 640° C. liegt, wofür wenigstens einige triftige Gründe entscheiden [1]. Indeſs führen solche Betrachtungen, wie man sieht, zu sehr auf hypothetische Voraussetzungen. *M.*

Differenzialbarometer.

Diesen Namen giebt Dr. August [2] in Berlin einem von ihm erfundenen abgekürzten Barometer, das die Dichtigkeit der Luft durch die Höhe einer Quecksilbersäule miſst, vermittelst welcher ein gewisses Quantum eingeschlossener Luft comprimirt wird. Das Instrument besteht aus zwei Glasröhren, einer weitern oben verschlossenen L, in welcher die Luft eingeschlossen wird, und aus einer offenen Barometerröhre a b, deren Länge nach Belieben auf die Hälfte, ein Drittheil oder Viertel des gewöhnlichen Barometers gebracht werden kann. Durch Eingieſsen von oben bei b, oder durch Druck von unten bei d wird Quecksilber in beide Röhren gebracht, und dadurch die Luft im Gefäſse L zusammengedrängt. Der Widerstand, den sie diesem Druck entgegensetzt, läſst das Quecksilber nur auf eine gewisse Höhe z. B. bei c steigen, treibt aber dagegen dasselbe in dem offenen Schenkel a b desto höher, etwa bis β. Diese letztere Höhe wird desto gröſser, je mehr die Luft in L verdichtet wird; sie ist also auch gröſser, wenn die eingesperrte Luftmasse ursprünglich gröſsere Dichtigkeit besaſs, und sie wird somit ein richtiges Maſs der Dichtigkeit der Luft. Hat man also z. B. am Fuſs eines Berges die Luft im Gefäſse L abgeschlossen, und bei c comprimirt, und wiederholt den nämlichen Versuch mit der Luft, auf dem Gipfel desselben bei gleicher Temperatur, so wird das Verhältniſs der Quecksilberhöhen in der Steigröhre a b das Verhältniſs der Dichtigkeiten der Luft in den zwei Stationen angeben. Kennt man nun das Maſs der Verdichtung, so lassen

Fig. 160.

---

1 Vergl. *Nullpunct, absoluter.*

2 Poggendorf Ann. III. 329.

ch hieraus auch die wirklichen Barometerstände selbst herleiten. Dieses ergiebt sich aus folgendem:

Vor der Abschliefsung der Luft bei d ist ihre Expansivkraft dem barometrischen Druck gleich, und diesem hält die frei zugängende Luft in der Röhre a b das Gleichgewicht. Diese Gegenwirkung dauert, da die Steigröhre oben offen ist, fort, auch nachdem die Luft in L abgeschlossen ist. Wird nun durch das Eindringen des Quecksilbers die Luft verdichtet, so vermag sie eine höhere Säule, als diejenige des Barometerstandes zu tragen, und das Quecksilber erhebt sich in der Steigröhre a b *über* das Niveau dieser Flüssigkeit im andern Schenkel L; (denn die Gewichte der Säulen d c und d a heben sich gegenseitig auf). Es ist also, wenn d die Dichtigkeit der Luft vor der Abschliefsung, δ diejenige der comprimirten Luft, x die der Dichtigkeit d entsprechende Quecksilbersäule oder den eigentlichen Barometerstand, und β die bewirkte Steigung über c bezeichnet, $d : \delta = x : x + \beta$. Das erstere Verhältnifs läfst sich auf eine leichte Art aus den Räumen herleiten, welche die Luft vor und *nach* der Compression einnimmt. Die Dichtigkeiten stehen nämlich zu diesen in umgekehrtem Verhältnifs. Man hat also auch, wenn m den ganzen Inhalt des Luftgefäfses L, α das Volum der comprimirten Luft bezeichnet, (beide in cylindrischen Linien der Steigröhre a b ausgedrückt)

$$m : \alpha = x + \beta : x;\ \text{oder}\ m - \alpha : \alpha = \beta : x,$$

woraus $x = \frac{\alpha\,\beta}{m - \alpha}$. Nennt man das Quantum der Compression oder den Raum $d c = n$, so ist $\alpha = m - n$; und $n = m - \alpha$, und es wird $x = \frac{(m - n)}{n} \times \beta = \left(\frac{m}{n} - 1\right) \times \beta$.

Beispiel. Bei einem am 6. März 1825 vom Erfinder angestellten vorläufigen Versuche war $m = 330{,}76$ cylindrischen Linien vom Querschnitt der Steigröhre; $\alpha = 292{,}73$; also $m - \alpha$ oder $n = 38{,}03$, $\beta = 44{,}27$. Es ist also

$$\frac{m}{n} = \frac{330{,}76}{38{,}03} = 8{,}697;\ \frac{m}{n} - 1 = 7{,}697.$$ Dieses multiplicirt mit $\beta = 44{,}27$ giebt $x = 340{,}74$ Lin. als den durch das Instrument angegebenen Barometerstand. Ein im Zimmer befindliches Heberbarometer gab 340,7 Par. Lin.

Aus der Formel $x = \left(\frac{m}{n} - 1\right) \beta$ erhellet, daſs x eine einfache Function von β ist. Wenn man daher im Gefäſs L das Quecksilber immer zu einer und derselben Höhe ansteigen macht, so wird das Verhältniſs $\frac{m}{n}$ beständig, und man erhält die wahre Barometerhöhe durch Multiplication der gemessenen abgekürzten Höhe mit einem Factor. Durch Verrückung des Querschnittes c kann man dieses Verhältniſs auf einfache Zahlen bringen, so daſs z. B. $n = \frac{1}{4}$ m; also $m : n = 4 : 1$; mithin wird der Coefficient von $\beta = 4 - 1 = 3$; oder die Barometerhöhe ist genau das Dreifache der am Instrument beobachteten Höhe.

Noch haben wir den Einfluſs zu betrachten, den die Temperatur auf das Differenzialbarometer ausübt. Dieser ist zweierlei Art: Erstlich wird die Quecksilbersäule durch die Ausdehnung dieser Flüssigkeit verlängert; und dann wird durch die Wärme die Expansivkraft der eingeschlossenen Luft in bedeutendem Grade verstärkt, so daſs diese wie ein Luftthermometer wirkt. Die Ausdehnung der Quecksilbersäule ist immer gleich der linearen Ausdehnung dieses Metalles multiplicirt mit der Länge der Säule; sie ist also, wenn die Letztere in unserm Fall nur ein Drittheil der Barometerhöhe beträgt, auch nur ein Drittheil der gewöhnlichen Correction des Barometers für die Wärme des Quecksilbers. Sie kann daher auch füglich erst nach der Reduction auf den wahren Barometerstand durch die gewöhnlichen Tafeln verrichtet werden. Sonst hat man, wenn T die Réaumür'schen Thermometer nebst ihren Zehntheilen bezeichnet, die verbesserte Höhe $\beta' = \beta \mp \beta\, T.\, 0{,}0000225$.

Bedeutender als diese Verbesserung ist die Correction wegen der Ausdehnung der eingeschlossenen Luft durch die Wärme. Beim Gebrauche des Instrumentes kann es sich leicht zutragen, daſs die Geräthschaft von der Sonnenhitze und der Nähe des Körpers merklich erwärmt wird, während dem auf der Höhe ein unerwarteter Luftzug die Atmosphäre erkältet. Das Umgekehrte kann eintreffen, wenn man aus der Kälte in ein wohlgewärmtes Zimmer tritt. Die im Gefäſs L abgeschlossene Luft wird also durch die Wärme der Seitenwände ausgedehnt;

ihre Expansivkraft nimmt zu, so dafs sie in Folge der Erwärmung eine höhere Quecksilbersäule zu tragen vermag, als diejenige ist, welche dem atmosphärischen Luftdrucke und der äufsern Temperatur entspricht. Den Versuchen zufolge beträgt diese Ausdehnung $\frac{1}{213}$ der Volume für jeden Grad Réaumür's, und um dieses Quantum mufs also auch die Expansiv-Kraft der Luft, oder die sie repräsentirende Quecksilbersäule vermindert werden. Nennt man also den Unterschied der Temperaturen der eingeschlossenen und der äufsern Luft t, die beobachtete Höhe β, so ist die verbesserte Höhe $\beta' = \beta \mp \frac{\beta\, t}{213} = \beta \mp \beta \,.\, t \,.\, 0{,}00469$. Da man aber eigentlich diejenige Wirkung sucht, welche die Wärme auf die Luftmasse β' von der äufsern Temperatur, also auf die bereits ausgedehnte β hat, so wird $\beta' = \beta \mp (\beta \mp \beta \,.\, t \,.\, 0{,}00469) \times t \,.\, 0{,}00469 = \beta \mp \beta\, (t \,.\, 0{,}00469 \mp t^2 .\, 0{,}00469^2)$. Man kann diesen Coefficienten von β in eine Tafel für $-$ t und $+$ t von 1° bis 10° bringen, die jedoch bis auf vier Decimalstellen gegeben seyn mufs, wenn man in der Correction die Zehntellinien genau haben will. Immer hin wird es rathsamer seyn, dieser Correction sich ganz zu überheben, indem man wartet, bis das Luftgefäfs ganz die äufsere Wärme angenommen hat, da es schwer zu bestimmen ist, welche Temperatur die eingedrungene Luft im Moment des Abschliefsens wirklich gehabt habe.

Einrichtung des Differenzialbarometers.

Fig. 161. 162 und 165.

AB ist ein cylindrisches Stück Buchsbaumholz, in welches die cylindrischen Glasröhren L und ab etwa $\frac{1}{4}$ Zoll tief eingesteckt sind. Unten bei d tritt ein Schraubengang hinein, und dort sind die etwa $1\frac{1}{2}$ Lin. weiten Canäle de und df und dg, die zu beiden Röhren und dem Thermometer t führen, so schräge eingeschnitten, als es die Anbringung des Bohrers gestattet. In den Schraubengang tritt das ebenfalls cylindrische Stück CDEK, welches oben eine sphärische Vertiefung (entsprechend der Convexität bei d) und bei g ein konisches Loch hat, wodurch eine Verbindung mit dem kugelförmigen Raume ghik entsteht. Dieser wird einerseits durch die sphärische Höhlung igk im Holze CD, andererseits durch den Lederbeutel ihk

Fig. 163.

Beobachter von der verticalen Stellung des Instruments versichern soll. Die zu dieser Wasserwaage gebrauchte Glasröhre darf nicht sehr enge seyn, wenn jene nicht allzu unempfindlich werden soll; sollte sie zu kurz scheinen, so darf man ohne Bedenken die Messingröhre O P über die Schienen K O, N P hinausgehen lassen. Der Aufhängering R ist an einer messingenen Hülse Q befestigt, welche auf der Röhre O P durch Reibung festsitzt, damit man bei dem veränderlichen Stand des Quecksilbers in der Steigröhre a b den Aufhängepunct nöthigen Falls ein wenig verschieben könne. Will man statt der Wasserwaage ein Pendel anbringen, wozu allerdings Raum genug ist, so muſs dieses in eine Glasröhre eingeschlossen werden, um gegen den Luftzug geschützt zu seyn. Auch läſst sich bei unveränderlichem Aufhängepunct leicht durch Versuche und Rechnung bestimmen, wie viel bei jedem Stande des Quecksilbers das Instrument von der Verticalität abweiche, und welche Correction deſshalb an der gemessenen Höhe anzubringen sey. Zwischen der Steigröhre a b und der Schiene M N rechter Hand befindet sich die Scale m n, an welcher der Vernier mit seiner, die Barometerröhre umgebenden, Hülse auf- und niedergleitet, und durch eine feine Bewegung stellbar ist. Sie ist etwa $6\frac{2}{3}$ Zolle lang; ihr unterer Anfangspunct befindet sich genau 4 Z. über dem Niveaupunct c. Man kann sie, wenn dieser Punct so regulirt ist, daſs der Raum e c genau den 4ten Theil des ganzen Gefäſses L beträgt, sogleich in Drittelszolle abtheilen, und jeden derselben in 12 Theile zerfällen, welche den Linien des Barometers gleich sind; der Vernier giebt dann Zehntellinien an. Der Raum von $4\frac{1}{4}$ Z. unterhalb dieser Barometerscale wird von der Scale des festen Thermometers eingenommen, das die Temperatur des Quecksilbers angeben soll. Es ist ein kleines Cylinderthermometer t, dessen Röhre luftdicht durch einen eisernen oder hölzernen Pfropf p gesteckt wird, welchen man in die cylindrische Höhlung p q entweder dicht einschraubt oder verleimt. So wie beim Gebrauche das Quecksilber in die Oeffnung d hineingetrieben wird, verbreitet es sich in die drei Canäle. Die dadurch in p q gedrängte Luft entweicht durch den kleinen Seitengang r in die offene Steigröhre und die Kugel des Thermometers wird von dem Quecksilber ganz umgeben. Dieses ist um so nothwendiger, da bei unserer Einrichtung die Röh-

Fig. 151. u. 162.

ren und das eigentliche Quecksilbergefäſs beim Transport von einander getrennt sind, wodurch sie leicht in den Fall kommen, eine ganz verschiedene Temperatur zu erhalten. Es wäre allerdings leicht, beide Gefäſse zu vereinigen, indem man zur Verschlieſsung des Quecksilbergefäſses bei d einen Hahn anbrächte; allein dadurch würde nicht nur das Instrument merklich verlängert, sondern es wäre überhaupt nicht zweckmäſsig, die leichten und zerbrechlichen Glasröhren mit einem Körper von so schwerem Gewicht in Verbindung zu bringen. Jeder der beiden Theile des Apparates wird nun in einen Cylinder von Pappe oder von weiſsem Bleche, der inwendig ausgepolstert ist, besonders verwahrt.

Beim *Gebrauche* des Differenzialbarometers hat man erstlich darauf zu sehen, daſs kein Staub oder Unreinigkeit sich in den Röhren befinde, deren Enden deswegen noch besonders verschlossen werden können. Man schraubt alsdann das Quecksilbergefäſs CDEK, nachdem dessen Deckel G abgenommen worden, an das Gefäſs AB fest, hängt das Instrument auf, und treibt vermittelst der Schraube S das Quecksilber in die Röhren, wobei man Acht hat, daſs wenigstens in dem Moment, wo das Luftgefäſs L abgeschlossen wird, das Barometer vertical sey. Das Schrauben wird nachher in beliebiger Lage so lange fortgesetzt, bis bei senkrechter Aufhängung das Quecksilber in L vom untern Rande der Hülse c aufs schärfste tangirt wird. Hierauf stellt man den Vernier an der Steigröhre ein, notirt die beiden Thermometer und liest ab. Während des Beobachtens ist es, zumal für Kurzsichtige, rathsam, das Luftgefäſs L durch einen Cylinder oder Halbcylinder von leichter Pappe gegen die vom Gesicht ausstrahlende Wärme zu schützen; nach gemachter Beobachtung muſs jedoch der äuſsern Luft der Zutritt sogleich geöffnet werden, damit das Luftgefäſs nicht gehindert werde, ihre Temperatur anzunehmen; man kann zu dem Ende diesen Cylinder an einem Faden von oben bis c herunterlassen, und zurückziehen. Allerdings giebt das Differenzialbarometer nur ein Drittheil der wahren Höhe an; und so ist es möglich, in dieser um $\frac{2}{10}$ Lin. zu fehlen; allein dieser Nachtheil wird einigermaſsen dadurch ersetzt, daſs man, so oft man will, schnell die Beobachtung wiederholen, und aus mehrern das Mittel nehmen kann. Nur muſs man das Instrument nicht in sei-

ner Stellung lassen, sondern bei jeder Beobachtung die Schraube S wieder ganz zurückziehen, und frische Luft hereinlassen, weil sonst die im Gefäſse L gepreſste Luft allmälig zwischen dem Quecksilber entweicht, und die Säule bei β fällt. Daſs bei allen solchen Beobachtungen auch die Temperatur der äuſsern Luft nach einem empfindlichen Thermometer bemerkt werden müsse, bedarf keiner besondern Erinnerung.

Das Differenzialbarometer füllt in dem Apparate des reisenden Physikers eine längst empfundene Lücke aus. Wenn man auch auf gewöhnlichen Reisen mit Sorgfalt und beständiger Aufsicht ein gut construirtes Reisebarometer durchbringen kann, so ist dieses beinahe unmöglich bei schwierigen und gefährlichen Bergbesteigungen, wo die Sorge für die persönliche Sicherheit jede andere Aufmerksamkeit vergessen macht, und die Rettung des Reisenden oft nur von einem kecken Sprunge abhängt. Wie sollte man es wagen dürfen, das gewöhnliche Reisebarometer auf Zügen in unwegsame Länder, nach Asien oder Africa mitzunehmen, und es dem erschütternden Gange eines Pferdes, Esels oder Kameeles anzuvertrauen? und wie wichtig wären nicht gerade die Höhenbestimmungen aus jenen Gegenden! Einige Beobachtungen am Niger, oder im Westen des Nils hätten schon längst über den Lauf dieser Flüsse, und das Problematische ihrer Vereinigung manches entschieden, und manche Angabe über die Erhebung der Länder, die Höhe der Gebirge, die jetzt nur auf einer täuschenden Schätzung beruht, wäre zu einem sichern Datum in der Geographie erhoben worden. Alle bisherigen Vorschläge, das Barometer abzukürzen, haben sich als unausführbar gezeigt, und das ehemals von Achard, später von Wollaston vorgeschlagene Mittel, durch den Siedepunct des Wassers die Barometerhöhe zu bestimmen, ist mühsam und unzureichend. Das Differenzialbarometer allein erfüllt diesen Zweck mit Leichtigkeit und hinreichender Genauigkeit. Wenn auch das reducirte Maſs seiner Scale und die Ausdehnung der eingeschlossenen Luft durch Wärme seine Angaben zuweilen um $\frac{1}{4}$ Lin. unsicher machen sollten, so bleibt dieser Fehler immerhin innerhalb der Genauigkeit, mit welcher correspondirende Beobachtungen aus der Ferne reducirt werden können, und es wird dagegen der Geographie manche schätzbare Bestimmung

zuwenden, auf welche sie bei dem bisherigen Stande unserer hypsometrischen Hülfsmittel gänzlich hätte verzichten müssen.

H.

Differenzialthermometer.

Differenzthermometer; Thermomètre différentiel; *Differential Thermometer;* nennt John Leslie ein empfindliches Thermometer, welches durch die Ausdehnung der Luft geringe Grade der Wärme anzeigt. Dasselbe wird in der nämlichen oder einer wenig veränderten Gestalt auch *Photometer*, *Pyroskop*, *Hygrometer*, *Aethrioskop* [1] *Thermoskop*, *Mikrocalorimeter* genannt, welche Namen von seinem verschiedenen Gebrauche entlehnt sind, und an den gehörigen Orten erklärt werden.

Obgleich das *Differenzial-Thermometer* als eine Erfindung Leslie's und das *Thermoskop*, mit demselben dem Wesen nach identisch, als durch Rumford erfunden allgemein bekannt sind, so läſst sich doch leicht nachweisen, daſs beide nur nach früheren Angaben abgeändert wurden, und überhaupt liegt die ganze Erfindung bekannten Gesetzen der Natur so nahe, daſs sie auf keine Weise als etwas Ausgezeichnetes gelten kann. Jede Construction dieses verschiedentlich abgeänderten Instrumentes beruhet nämlich auf der unlängst bekannten Ausdehnung der Luft durch Wärme, der Erzeugung der Wärme durch den Einfluſs der Licht- und Sonnen-Strahlen durch Absorbirtwerden derselben in dunkelen Körpern, und der Erzeugung von Kälte durch Verdunstung in Gemäſsheit des durch den gebildeten Dampf gebundenen Wärmestoffes. Man kann daher nicht ohne Grund annehmen, daſs in dem *Luftthermometer*, welches Cornelius Drebbel um 1638 bekannt machte [2], und aus einer Glaskugel an einer engen, mit gefärbtem Weingeist gefüllten, Röhre bestand, die erste Idee des Luftthermometers und somit jedes folgenden Werkzeuges liege, vermittelst dessen die Wärme durch die Ausdehnung der reinen oder mit Dämpfen erfüllten Luft gemessen wird. Nach der Bekanntwer-

1 S. Th. I. p. 279.

2 Dalencé Traité des baromètres, thermomètres et notiomètres Amst. 1688. 8.

dung des von Leslie vorgeschlagenen Instrumentes zeigte H. Davy [1] dafs schon van Helmont, welcher 1644 starb, ein ähnliches Werkzeug in Vorschlag gebracht habe, welches indefs Leslie für wesentlich verschieden von dem seinigen erklärte. Neuerdings aber zeigte Brewster [2], dafs Joh. Christ. Sturm in seinem allgemein und auch Leslie bekannten Werke [3] unter mehreren ähnlichen Thermometern genau auch das Differenzialthermometer in derjenigen Form angegeben habe, als Leslie. Eine Uebereinstimmung beider im Wesentlichen läfst sich keineswegs verkennen. Das von Sturm beschriebene Thermometer nämlich, welches er nach Drebbel's Angabe construirte, besteht aus einer Glaskugel A mit einer Glasröhre, welche eine Wassersäule B C in sich enthält. An das obere Ende D dieser Röhre soll dann nach Sturm die gröfsere Kugel E angeschmolzen werden, und indem beide Kugeln mit Luft gefüllt sind, so wird die Wassersäule in der Röhre steigen oder fallen, sobald als die Luft in einer der beiden Kugeln allein ausgedehnt oder zusammengezogen wird. Weil aber beide Kugeln ungleich grofs sind, so ist auch der Raum, um welchen sie bei veränderter Dichtigkeit das Wasser in der Röhre fortzustofsen oder anzuziehen streben, ihrem Inhalte direct proportional.

Fig. 166.

Ob eine Erinnerung an dieses Instrument Leslie auf die Construction seines Differenzialthermometers führte; läfst sich unmöglich ausmachen, gewifs aber ist, dafs er einen ihm eigenthümlichen Ideengang angiebt, wonach dasselbe zuerst als *Hygrometer* und als *Photometer* von ihm verfertigt wurde. Mit den vorbereitenden Versuchen will er sich dann ferner schon seit 1797 beschäftigt haben [4], indefs erschien die erste Bekanntmachung dieser beiden frühesten Apparate im Jahre 1800. Als Differenzialthermometer und in Beziehung auf seine Eigenschaft, geringe Grade der Wärme zu messen, wurde der Apparat erst mehr bekannt durch die weitverbreitete Schrift Leslie's über das Verhalten der Wärme [5]. Um dieselbe Zeit

1 Elements of Chemical Philosophy. 1808. p. 75.
2 Edinburgh Journ. of Science N. III. 144.
3 Collegium experimentale curiosum. Norimb. 1676. p. 49.
4 Nicholson's Journ. of Nat. Phil. III. 461, 518. G. V. 235.
5 Inquiry into the nature and propagation of heat. Lond. 1804. 8.

machte Rumford seine Versuche über Wärmestrahlung bekannt, und beschrieb das hierbei von ihm gebrauchte, höchst empfindliche Luftthermometer, welchem er den Namen *Thermoskop* gab [1]. Ob er auf die Erfindung desselben durch die Bekanntschaft mit Leslie's Apparate geleitet sey, wie einige behauptet haben [2], läſst sich unmöglich mit Gewiſsheit ausmitteln, indeſs liegt die Anwendung empfindlicher Luftthermometer und diejenige Abänderung, welche Rumford demselben gegeben hat, so nahe, daſs er immerhin von selbst darauf verfallen konnte; zudem hat dasselbe nicht so viele Aehnlichkeit mit dem Leslieschen Differenzialthermometer, als mit einem nur etwas anders eingerichteten sehr empfindlichen Luftthermometer, dessen sich G. G. Schmidt schon früher bediente [3]. Obgleich indeſs alle diese Werkzeuge ihrem Wesen nach dieselben sind, so wird es doch in Gemäſsheit des ihnen einmal gegebenen Namens am zweckmäſsigsten seyn, Leslie's *Differenzialthermometer* nach seiner anfänglichen Gestalt mit denjenigen Veränderungen hier vorläufig zu beschreiben, welche ihm der Erfinder selbst und andere nachher gegeben haben, das Rumford'sche *Thermoskop* aber unter diesem seinem eigenthümlichen Namen aufzunehmen, und dann zugleich das sehr ähnliche, von G. G. Schmidt angegebene damit zu verbinden [4].

Leslie's *Differenzthermometer* besteht nach der ersten Einrichtung desselben [5] aus zwei Glaskugeln a und b, beide von möglichst gleichem Inhalte, und zwischen 4 bis 7 Par. Lin. im Durchmesser groſs. Diese sind jede an eine Glasröhre geblasen, Fig. 167.

---

1 Phil. Trans. 1804. I. 99. Mém. de l'Inst. VI. 71. Vergl. *Thermoskop*.

2 Brewster in Edinb. Journ. of Sc. III. 145.

3 Handbuch d. Naturlehre. 1ste Aufl. Giessen 1801. 2te Aufl. ebend. 1813. p. 319.

4 S. *Thermoskop*. Sollte der Name bei dieser Anordnung nicht entscheiden, so müſsten alle unter *Thermometer* oder *Mikrothermometer* oder *Mikrocalorimeter* vereinigt werden.

5 Leslie experimental Enquiry into the Nature and Propagation of heat Lond. 1804. Ann. de Chim. XXXV. 1. Biot Traité IV. 606. Kurzer Bericht von Versuchen und Instrumenten, die sich auf d. Verhalten d. Luft zu Wärme und Feuchtigkeit beziehen. Von J. Leslie übers. mit Anm. von H. W. Brandes Leipz. 1823. 8.

wovon die eine, woran die Scale kommt, genau calibrirt seyn, und etwa 0,02 oder 0,018 Z. Weite haben mufs; die andere wird etwas weiter gewählt, damit die Flüssigkeit sich leichter in derselben bewegt, ihr genaues Caliber ist nicht erforderlich, nur mufs sie um so viel länger seyn, als das horizontale Stück des Instrumentes f g beträgt; beide endlich werden an ihren Enden etwas konisch erweitert, um bei der Vereinigung einen etwas gröfseren, zur Regulirung der Flüssigkeit dienenden, Raum zu bilden. Die Höhe des Instrumentes von der Biegung an beträgt von 3 bis 6 Zoll. Wird dann die Luft in der Kugel an der längeren Röhre durch die Wärme der Hand etwas ausgedehnt, und die Röhre in eine mit Carmin gefärbte Flüssigkeit getaucht, so dringt ein Theil von dieser in die Röhre ein, wenn die Kugel wieder erkaltet, man sucht dann die Flüssigkeit vom Ende der Röhre zu entfernen, und schmelzt beide Röhrenenden an der Lampe an einander, wobei an der Stelle ihrer Verbindung bei f eine Erweiterung gebildet wird, welche zur Regulirung des Standes der Flüssigkeit dient. Erst nachdem dieses geschehen ist, wird die Röhre in die gehörige Form gebogen, auf das Fufsgestell A befestigt und mit der Scale g e versehen.

Es läfst sich nicht leugnen, dafs diese Verfertigungsart grofse Schwierigkeiten hat. Zuerst ist es nicht leicht, beide Kugeln von ganz gleicher Gröfse zu verfertigen, welches zur völligen Genauigkeit mancher Beobachtungen durchaus nothwendig ist, aufserdem aber lassen sich Röhren, wenn sie vorher benetzt waren, nicht gut zusammenschmelzen, und selbst das Biegen, nachdem schon die Flüssigkeit hineingefüllt war, zieht nicht selten den Verlust des Instrumentes nach sich. Diese letzteren Schwierigkeiten lassen sich vermeiden, wenn man nach Art der Verfertigung des Rumford'schen Thermoskops das Instrument, ohne Einfüllung der Flüssigkeit, ganz verfertigen läfst, wobei aber die Erweiterung bei f in eine feine Spitze auslaufen mufs. Sind demnach beide Kugeln gleichmäfsig erwärmt oder einem geringeren äufsern Luftdrucke ausgesetzt, so dringt nach dem Erkalten oder durch vermehrten Luftdruck eine gewisse Quantität der gefärbten Flüssigkeit durch die Spitze ein, füllt die horizontale Röhre und von den lothrechten einen solchen Raum, als der Gröfse jeder der bei-

den-Kugeln proportional ist, worauf die sehr feine Spitze durch bloſses Hineinhalten in die Flamme einer Kerze zugeschmolzen wird. Soll indeſs der lufterfüllte Raum in beiden Kugeln ganz gleich seyn, so läſst sich dieses nach DE BUTT [1] auf eine einfache Weise erreichen, wodurch zugleich die ganze Construction des Werkzeuges ausnehmend erleichtert wird, wenn man dasselbe auf folgende Weise verfertigt. An die calibrirte Thermometerröhre a b wird eine Kugel geblasen, eine andere Röhre efg aber, welche genau so weit ist, daſs jene sich willig hineinschieben läſst, wird unterhalb f gleichfalls zu einer etwas weiteren Kugel aufgeblasen, und hierbei zugleich das untere Ende so weit verengert, daſs die erstere Röhre hier nicht einsinkt. Damit dann der Luftraum in beiden gleich werde, darf man nur von der anfänglich jederzeit zu langen Röhre a b ein Stück abschneiden, welches vom Boden der Kugel bis an e reicht, dann die an a b befindliche Kugel nebst der Röhre bis soweit, als wohin beim mittleren Stande des Instrumentes die Flüssigkeit reichen soll, mit Quecksilber füllen [2], dieses wieder ausgieſsen, die nämliche Quantität in die untere Kugel schütten, das abgeschnittene Ende der Röhre hineinsenken, oben mit dem Finger verschlieſsen, und die Kugel umkehren, wobei dann die Grenze des Quecksilbers genau die Grenze c d anzeigt, bis wie weit die untere Kugel mit der Flüssigkeit bei Verfertigung des Instrumentes erfüllt werden muſs. Nach dieser empirischen, aber sehr genauen Messung wird die untere Kugel bis an die bezeichnete Grenze mit Schwefelsäure gefüllt, welche durch etwas Carmin roth gefärbt ist, die Röhre a b hineingesenkt, dann das Instrument auf ein Fuſsgestell so montirt, wie die Zeichnung angiebt, und die Mündung der oberen Röhre einigemale mit Bleiweiſs und guttrocknendem Oelfirniſs vermit-

Fig. 168.

1 Philos. Trans. of the American philosoph. Soc. Vol. I. New Series. Brandes zu Leslie's Bericht. p. 58.

2 Auch mit Wasser würde dieses geschehen können, allein dann müſste die Kugel sorgfältig wieder getrocknet werden. Man bringt übrigens das Quecksilber leicht durch die enge Röhre in die Kugel, wenn man zum Entweichen der Luft ein feines Grashälmchen oder ein Pferdehaar in die Röhre schiebt, während man vermittelst eines umwundenen hohlen Cylinders von Papier das Quecksilber in die Röhre laufen läſst.

telst eines Malerpinsels bestrichen, bis der enge Raum zwischen beiden Röhren luftdicht verschlossen ist. Man erwärmt dann die obere Kugel vorsichtig mit der Hand und läſst sie wieder erkalten, worauf etwas von der gefärbten Flüssigkeit in der Röhre aufsteigt, zugleich aber wiederholt man dieses Verfahren so lange, bis bei gleicher Temperatur beider Kugeln die Flüssigkeit so hoch steht, als anfänglich bei der Messung bestimmt wurde.

Das LESLIE'sche Differenzialthermometer ist eigentlich nur dazu bestimmt, kleine Unterschiede der Temperatur, welche auf die eine oder die andere der beiden Kugeln wirken, anzuzeigen, ohne daſs zunächst eine eigentliche thermometrische Messung verlangt wird. Indeſs kann man auch die letztere auf eine leichte Weise erhalten. So lange nämlich die Luft in beiden Kugeln auf gleiche Weise erwärmt ist, hat dieselbe eine gleiche Elasticität, drückt demnach mit gleicher Stärke auf die Flüssigkeit, und diese wird also in Ruhe bleiben; eine ungleiche Erwärmung der Kugeln wird aber eine Bewegung der Flüssigkeit veranlassen, und wegen der groſsen und leichten Ausdehnbarkeit der Luft durch Wärme werden die geringsten Veränderungen auf diese Weise sichtbar werden. Inzwischen läſst sich der Unterschied der Wärme beider Kugeln auch durch ein absolutes Maſs ausdrücken, so daſs also das bisher bloſs als *thermoskopisches* Werkzeug betrachtete zum *thermometrischen* wird. Zu diesem Ende bringt man nach LESLIE beide Kugeln auf ganz gleiche Temperatur, und bezeichnet den Stand der Flüssigkeit, welchen sie dann einnimmt, mit 0, erhöhet oder vermindert die Temperatur der einen Kugel allein um etwa 10° C., bemerkt den Stand der Flüssigkeit in der Röhre und theilt den Raum vom vorher beobachteten Nullpuncte an in 100 gleiche Theile, verfertigt hiernach eine Scale und erhält also ein Thermometer, welches Zehntel von Centesimalgraden angiebt, oder den Raum zwischen den festen Puncten gewöhnlicher Thermometer in 1000 Theile getheilt enthält. Uebrigens ist es nicht eben leicht, eine solche Scale mit der erforderlichen Genauigkeit zu erhalten. Hat das Werkzeug die Gestalt, welche STURM und BUTT vorgeschlagen haben, so kann man die untere Kugel in Wasser senken, welches um 10° C. wärmer oder kälter ist, als die äuſsere Umgebung und somit auch als

die obere Kugel; allein auch dieses Verfahren bietet keine vollkommene Sicherheit dar, indem die Temperatur der Umgebung sich in der Nähe eines Gefäfses mit Wasser, welches um 10° C. wärmer oder kälter ist, leicht ändert. Am sichersten wird es daher seyn, beide Röhren des Leslie'schen Differenzialthermometers mit einem durchbohrten und dann durchschnittenen Korke zu umgeben, auf diesen ein gläsernes Gefäfs mit durchlöchertem Boden, welcher die Kugeln durchläfst, zu schieben, erforderlichen Falls die Fugen des Korkes und Glases mit Bleiweifs und Leinölfirnifs zu verstopfen, und beide Gefäfse mit Wasser zu füllen, welches um 10° C. Wärme differirt. Hierbei liefse sich dann auch der Nullpunct genauer bestimmen, wenn man das Wasser anfangs von ganz gleicher Temperatur nähme. Bei der von Butt vorgeschlagenen Einrichtung bedarf man eines solchen angegebenen Wasserbehälters blofs für die obere Kugel, indem man die untere in ein freies Gefäfs mit Wasser senken kann.

Leslie wählte zur gefärbten Flüssigkeit anfangs eine Alkaliauflösung mit Carmin gefärbt, und damit diese durch den Sauerstoffgehalt der eingeschlossenen Luft nicht verändert würde, füllte er die Kugeln und Röhren vorher mit Wasserstoffgas [1]. Dieses Verfahren ist beschwerlich, und er zog deswegen später die Schwefelsäure mit etwas Carmin gefärbt vor, welche noch aufserdem den Vortheil gewährt, dafs sie der Luft in den Kugeln ihre Feuchtigkeit entzieht, und hierdurch den Einflufs derselben aufhebt. Howard in Baltimore wählt dagegen Weingeist mit etwas Cochenille gefärbt, giebt dem Werkzeuge gröfsere Kugeln, und diejenige Gestalt, welche aus der Figur an sich deutlich ist. Der Weingeist wird durch die Spitze der oberen Kugel eingebracht, dann läfst man ihn im Instrumente selbst sieden, um alle Luft auszutreiben, worauf die Spitze an der Lampe zugeschmolzen wird [2]. Weil indefs hierbei nach seiner Meinung stets etwas Luft zurückbleibt, so soll man vor jeder Beobachtung den gesammten Weingeist in eine Kugel laufen lassen, das Residuum der Luft dadurch in den

Fig. 169.

---

1 Nicholson's Journ. of. Nat. Phil. III. 461.

2 Ueber das hierbei zu beobachtende Verfahren vergl. *Pulshammer.*

offenen Raum bringen, dann bei vorsichtiger Vermeidung eines Temperaturunterschiedes das Instrument hinstellen, und den Nullpunct von demjenigen Stande an rechnen, welchen die Weingeistsäule dann hat. Die Verfertigung der Scale geschieht demnächst auf die oben angezeigte Weise [1]. Dafs die hierbei als thermoskopische Substanz dienenden Weingeistdämpfe empfindlicher gegen die Einwirkungen der Wärme sind, als die trockne Luft in LESLIE's Instrumente, insbesondere wenn die Kugeln des Apparates merklich gröfser gemacht werden, leidet keinen Zweifel, auch versichern die Herausgeber der *Bibliotheque universelle*, seine Empfindlichkeit als *Aethrioskop* [2] und als *Photometer* aufserordentlich grofs gefunden zu haben. LESLIE gesteht selbst die gröfsere Empfindlichkeit der Weingeistdämpfe zu, und die Beschreibung des Thermoskops wird ergeben, dafs man mit diesem, auf ähnliche Weise construirten, Werkzeuge wohl ohne Zweifel bis auf $\frac{1}{1000}$ eines Réaumürschen Grades die Temperaturen zu messen im Stande ist; allein dennoch giebt LESLIE der gefärbten Schwefelsäure den Vorzug, weil sein Apparat hiermit regelmäfsiger und beständiger in seinen Angaben wird. Aufserdem haben mich Versuche belehrt, dafs man bei der Wahl des Weingeistes nicht zu grofse Quantitäten dieser Flüssigkeit nehmen darf, weil sonst wegen der verhältnifsmäfsig gröfseren Wärmecapacität desselben die Apparate weniger empfindlich werden, als wenn man trockene Luft und eine, blofs in der Glasröhre befindliche, kurze Säule der gefärbten Schwefelsäure wählt. Soll HOWARD's Apparat als photometrisches Thermometer dienen, so wird nach der Angabe der Herausgeber der *Bibliotheque universelle* die obere Kugel mit schwarzer Tusche stark überzogen, die untere aber mit Goldschaum überklebt und mit einem dünnen Etui von mattgeschliffenem Glase überdeckt. Eine genäherte Lichtflamme soll dann eine ihrer Lichtstärke proportionale Menge Wärme in der geschwärzten Kugel entbinden, worüber indefs keine genauere und entscheidende Versuche mitgetheilt sind.

LESLIE hat übrigens sein Instrument gleichfalls als *Pyroskop* gebraucht, wobei er die eine Kugel so genau mit Blatt-

---

1 Journal of the Royal Instit. 1820. Jan. Bibl. univ. XIII. 249.

2 Vergl. *Aethrioskop* T. I. p. 279.

gold überzieht, dafs sie überall eine glänzende metallene Oberfläche darbietet, von welcher die Wärmestrahlen einer leuchtenden oder dunkeln Wärmequelle zurückgeworfen werden, während sie die freie Glaskugel, oder noch besser die mit Tusche oder einer beliebigen nicht glänzenden Farbe überzogene, durchdringen und die darin enthaltene Luft ausdehnen. Soll das Differenzthermometer aber als *Photometer* dienen, so bleibt die eine Kugel von durchsichtigem Glase unverändert, die andere aber wird mit schwarzer Tusche dick überzogen, oder von tief schwarzem Email geblasen, welches Leslie für besser hält, wahrscheinlich aber mit Unrecht, insofern das Email stets etwas Glanz beibehält, und somit einen Theil des Lichtes zurückwirft. Diesen zu photometrischen Messungen bestimmten Differenz-Thermometern giebt Leslie eine zwiefache Gestalt, indem er sie entweder etwas kleiner und transportabel macht, wobei die geschwärzte Kugel sich lothrecht über der durchsichtigen befindet, und die Röhre an derselben oben etwas krumm gebogen ist, um beide Kugeln in eine verticale Lage über einander zu bringen; oder etwas gröfser und für den Transport nicht eingerichtet, die beiden Kugeln in einer horizontalen Ebene und oben etwas aus einander gebogen. Ueber beide wird eine Glasglocke gesetzt, welche auf dem Fufsgestelle ruhet, und bei dem zweiten aus einem Cylinder mit einer weiteren Kugel besteht, wovon ersterer von unten auf das Instrument geschoben wird, ehe es auf seinem Fufsgestelle feststeht, letztere aber die divergirenden Kugeln aufzunehmen bestimmt ist. Eine solche Hülle dient dazu, um den Einflufs einer ungleichen Erwärmung der Luft auszuschliefsen, und die Wirkung des Lichtes allein zu haben [1]. Endlich dient das Differenzthermometer auch als *Hygrometer*, indem man die eine Kugel desselben mit Cambrai oder einem sonstigen leichten Zeuge überzieht, dieses benetzt, und aus der gröfseren oder geringeren Temperaturverminderung derselben, als Folge der stärkeren oder schwächeren Verdunstung, auf den dieser letzteren umgekehrt proportionalen hygrometrischen Zustand der

Fig. 170.

Fig. 171.

---

1 Auf einem ganz gleichen Grunde beruhet auch das Photometer, welches W. Ritchie in Phil. Trans. 1825. I. p. 141. bekannt gemacht hat. Vergl. *Photometer*.

Atmosphäre schliefst. Weil indefs hierbei das Werkzeug selbst unverändert bleibt, dessen Beschreibung hier allein zu berücksichtigen ist, so bleibt die nähere Anweisung zum Gebrauche desselben sowohl als Pyroskop, als auch als Photometer und Hygrometer den speciellen Untersuchungen dieser Gegenstände vorbehalten. *M.*

Digestor.

Papin's Digestor, Papinischer Topf, Papinische Maschine; *Digestor Papini, olla Papini seu papiniana;* Marmite de Papin; *Papin's digestor.*

Der Vorschlag, Knochen, Hirschhorn, Fischgräten u. dgl. in verschlossenen Töpfen vermittelst des über dem Siedepuncte heifsen Wassers zu erweichen, ist vermuthlich zuerst durch R. Boyle gethan [1], von Dionysius Papinus aber mit grofsem Eifer verfolgt, und letzterer hat auch den nach ihm benannten Topf angegeben, worin dieses am bequemsten geschehen kann [2]. Wegen der unvermeidlichen Gefahr des Zerplatzens solcher Gefäfse durch die Gewalt der Dämpfe, wie Papin selbst bei einigen Versuchen erfahren haben soll, wurde der Gegenstand weniger beachtet; indefs veranlafste dieses den Erfinder schon 1682, das zur Sicherung hiergegen erfundene Ventil anzubringen, welches später bei allen Dampfapparaten so wichtig geworden ist.

Seit der Zeit jener Bekanntmachung durch Papinus ist dieser Apparat nie gänzlich vergessen und von Zeit zu Zeit sind Vorschläge zur Verbesserung und weiteren Benutzung desselben geschehen. Die ersten dieser Art sind vom Erfinder selbst [3],

---

1 Experim. novorum physico-mechan. continuatio sec. Genevae 1682. 4. p. 128.

2 Die Abhandlung, worin die Sache sehr empfohlen wird, machte Papin in dem nämlichen Jahre zugleich in England und Holland bekannt: A New Digestor. Lond. 1681. 4. La manière d'amolir les os. Amst. 1681. 4.

3 La manière d'amollir les os cet. Nouvelle ed. revue et augmentée d'une sec. partie. Amst. 1685. 12. Continuation of the new digestor cet. Lond. 1687. 4.

bald darauf gab Hubin an, man solle zur gröſseren Reinlichkeit der bereiteten Speisen in den kupfernen Topf einen andern zinnenen setzen [1], zu ökonomischen Zwecken wurde derselbe aber empfohlen durch Clayton [2], Wilke [3] u. a. Vorzüglich hat man denselben viel in Holland zur Bereitung der sogenannten Bouillontafeln gebraucht, ohne daſs jedoch seine Anwendung im eigentlichen Sinne gemein geworden ist. Zum ökonomischen und pharmaceutischen Gebrauche ist er empfohlen durch Sangiorgio [4].

Indem der ganze Apparat auf dem Grundsatze beruhet, daſs die Hitze des Wassers ins Unbestimmte wachsen kann, sobald den Dämpfen jeder Ausweg verschlossen ist, und daher die in dieser gebundene Wärme nicht entweicht, so hat man bei der Construction desselben bloſs auf die beiden Stücke zu achten, zuerst daſs der Digestor hinlänglich dicht verschlossen sey, um keinen Dampf entweichen zu lassen, und zweitens daſs hiermit eine hinlängliche Stärke der Wandungen verbunden werde, um gegen die gefährlichen Folgen des Zerspringens gesichert zu seyn. Eine dieses beides berücksichtigende, im Ganzen sehr zweckmäſsige Construction des Digestors hat J. H. Ziegler [5] ausführen lassen, und einige interessante Versuche damit angestellt. Papin's Digestor bestand nämlich ursprünglich bloſs aus einem kupfernen Topfe mit fest aufgeschrobenem Deckel und zwischenliegendem Leder zum dampfdichten Schlieſsen. Nach einigen Erfahrungen des Zerspringens brachte er zur Sicherheit das Ventil an. Ziegler behielt diese Einrichtung bei, gab aber seinem Topfe eine gröſsere Festigkeit durch umgelegte starke eiserne Bänder. Die späteren vorgeschlagenen, und zum Theil auch ausgeführten, Verbesserungen desselben bezweckten vorzüglich seine Anwendbarkeit für den

1 Mém. de l'Ac. I. 208.

2 Phil. Trans. 1739. N. 454.

3 Schwed. Abh. 1773. Vergl. Mémoire sur l'usage économique du digesteur de Papin. à Clermont. Ferrand 1761. 8.

4 P. Sangiorgio chemische und pharmaceutische cet. Abhandl. übers. von Dr. A. Schmidt. Leipz. 1797. N. 12.

5 Specimen physico-chemicum de Digestore Papini cet. Basil. 1769. 4.

ökonomischen Gebrauch, namentlich die Bereitung der Speisen für Armen- und Kranken-Anstalten, Hospitäler u. dgl. Dahin gehören vorzüglich die Bemühungen des VAN MARUM, welcher einen solchen Topf von 0,2 Z. dickem Kupfer und bedeutender Gröfse verfertigen liefs und die vortheilhafte Benutzung desselben durch die Erfahrung nachwies [1]. So einleuchtend übrigens der grofse Vortheil ist, welchen der Digestor hiernach gewährt, so ist er doch, selbst bis auf die neuesten Zeiten nur wenig oder überhaupt kaum in Gebrauch gekommen, und befindet sich hauptsächlich nur als Modell in den physikalischen Cabinetten. Die Ursache hiervon ist nicht weit zu suchen. Einestheils ist nämlich die Anschaffung eines solchen kupfernen Digestors des Materials wegen und wegen des mühsamen Einschleifens nicht sowohl des Ventiles als hauptsächlich des Deckels zur Vermeidung des in vieler Hinsicht nicht zweckmäfsigen Zwischenleders sehr kostbar, anderntheils mufs jederzeit eine etwas sachverständige Person die Handhabung desselben übernehmen, weil gemeine Köchinnen durch das Aufschlagen des Ventils und das geräuschvolle Entweichen des Dampfes erschreckt werden, die Sorgfalt abgerechnet, womit das Ventil und der aufgeschliffene Deckel behandelt werden müssen, wenn das dampfdichte Schliefsen bleibend erhalten werden soll; endlich aber ist man auch hierdurch nicht gegen mögliche grofse Gefahren gesichert, wie aus dem Zerspringen eines solchen Digestors in Berlin [2] sattsam hervorgeht. Dafs derselbe übrigens unter geeigneter Bedingung vortheilhaft angewandt werden könne, beweiset die ausgedehnte Suppenanstalt in *München*, wo ein grofser eiserner Digestor zu diesem Zwecke mit dem besten Erfolge benutzt wird [3], auch hat PLEISCHL [4] vollkommen Recht, wenn er denselben für das Hospitium auf dem *St. Bernhard*

---

1 Voigt Mag. III. 198. 245. Van Marum bekam aus 2 ℔ Rindknochen in 4 Pinten Wasser mit ¼ Lt. Salz 2 Stunden gekocht 4 ℔ 1 Lt. dicke Gallerte von brauner Farbe; nach abermaligem zweistündigen Kochen mit 4 Pinten noch 4 ℔ Gallerte von einer blässeren Farbe und im Ganzen ½ ℔ Fett.

2 G. XXII. 161.

3 Schweig. XX. 305. Bibl. univ. VI. 63.

4 G. LXV. 325.

pfiehlt, wo des geringen Luftdruckes wegen das Wasser die wöhnliche Siedehitze nicht erreichen kann.

Soll der Bau und die Benutzung des Papinischen Digestors Allgemeinen untersucht werden, so muſs man den physika- wissenschaftlichen Zweck von dem ökonomischen und mischen wohl unterscheiden. Hinsichtlich des wissen- aftlichen Zweckes ist es nicht zu bezweifeln, daſs die Un- suchung der Dämpfe, ihrer Elasticität, Dichtigkeit und auf- nden Kraft von groſser Wichtigkeit sey. Insbesondere hin- tlich des Letzteren verdient der Digestor vorzügliche Auf- rksamkeit. Es ist nämlich hinlänglich erwiesen, wie sehr auflösende Kraft namentlich des Wassers durch erhöhete mperatur wächst, und vor allen Dingen scheinen die starken ungen des Sinters durch die Wasser der heiſsen Quellen dar- zu führen, daſs selbst auch verschiedene Mineralien in r erhitztem Wasser viel stärker aufgelöset werden als in them, welches nicht über die Siedehitze bei gewöhnlichem osphärischen Drucke hinauskommt. Indem nun so manche ssilien in einem tropfbar flüssigen Mittel krystallisirt zu seyn heinen, es aber noch nicht ausgemacht ist, wie hoch die mperatur des Erdballs und wie stark der Druck der Atmo- äre früher gewesen seyn mag, so wäre es in geognostischer sicht rücksichtlich dieser Fossilien und wissenschaftlich in ziehung auf alle Körper sehr interessant, ihre Auflöslichkeit Wasser von höherer Temperatur bestimmt zu kennen, und naue Versuche hierüber würden eben so interessant als nütz- h seyn. Für solche Zwecke hat Edelkranz [1] einen Digestor gegeben, welcher aus einem Kessel von starkem Kupfer ge- ben besteht. Der obere durchschnittene Theil zeigt den Me- nismus des Verschlieſsens, welcher darin besteht, daſs auf n oberen Rand des eigentlichen Topfes das massive Deckel- ück b, b hart aufgelöthet und mit Schrauben befestigt ist. In dem befindet sich das von unten nach oben konisch zulaufen- Stück v, v, in welches der eigentliche Deckel a a von unten rauf eingeschliffen durch den Druck des Dampfes sich ein- mst, um das Festschrauben desselben zu entbehren. An die-

Fig. 172.

1 G. XXII. 129. Gehlen N. J. II. 616. IV. 317.

sem Stücke befindet sich die Handhabe r, um den Deckel im Anfange anzuziehen und vermittelst eines durchgesteckten Holzes zu befestigen, dann das eiserne Gefäfs o mit Quecksilber, in welches das Thermometer p gesenkt wird, um vermittelst desselben die Temperatur im Innern des Topfes zu messen, und das sinnreich ausgedachte Sicherheitsventil d l. Letzteres besteht aus einer ausgeschliffenen cylindrischen Röhre, worin sich der metallene Embolus e mit der Stange h i dampfdicht bewegt. Auf einem Absatze dieser Stange g s ruhen die mehr oder weniger zahlreichen Auflegegewichte m, m, m ..., welche den Embolus niederdrücken, bis die Gewalt der Dämpfe ihn hebt, und letztere durch die in der Röhre befindlichen feinen Löcher p q entweichen, wovon eine der Spannung des Dampfes proportionale Menge durch das höhere Aufheben des Embolus geöffnet wird. Endlich ist c k ein durchlöchertes federndes Blech, welches über den unteren hervorstehenden Rand der Röhre geschoben wird.

So sinnreich dieser Apparat auch ausgedacht ist, so hat er doch wesentliche Fehler. Zuvörderst ist das Ventil sehr zusammengesetzt, hat eine grofse Fläche, mufs daher mit vielen Gewichten unnöthig beschwert werden, und dabei ist es noch fraglich, ob bei aller Sorgfalt der Verfertigung die ungleiche Ausdehnung verschiedener Stücke Metall das genaue Schliefsen mit hinlänglicher Beweglichkeit vereinigen läfst. Dann sollen vor der Verfertigung der Deckel und das Randstück v v genau in einander geschliffen werden; allein da die Hitze der Dämpfe keine andere, als die harte Löthung zuläfst, diese aber nur in heftigem Feuer geschehen kann, so wird die aufgeschliffene Fläche hierdurch auch rücksichtlich auf das Verziehen des Metalles ihre erforderliche Genauigkeit verlieren. Eine grofse Unbequemlichkeit liegt ferner darin, dafs der Deckel nicht aus dem Topfe genommen werden kann, welches der Erfinder zwar nachher dadurch zu vermeiden suchte, dafs er vorschlug, den Deckel oval zu machen, allein es ist bekannt, dafs eine andere als eine kreisrunde Fläche nicht aufgeschliffen werden kann. Endlich aber ist der Topf, blofs von Kupfer verfertigt, durch die allerdings grofse Cohäsion dieses Metalles keineswegs hinlänglich gesichert, wenn man berücksichtigt, dafs die Elasticität des Dampfes bei 200° R. schon über 32 Atmosphären

steigt, sein Druck also mehr als 64000 ℔ gegen eine Fläche von einem Pariser Quadratfuſs beträgt.

Bei einigen nach meiner Angabe verfertigten Digestoren [1] bin ich daher mit wenigen Abänderungen wieder zu ZIEGLER's Construction zurückgekehrt. Der Topf selbst besteht aus getriebenem, eine Linie dickem Kupfer, dessen oberer Rand in einen massiven, 2,5 Lin. dicken messingnen Ring eingefalzt und hart gelöthet ist. Um denselben gehen zwei eiserne 0,25 Z. dicke und 0,75 Z. breite eiserne Bänder n, n, welche unten am Boden, da wo sie sich durchkreuzen, zur Hälfte eingeschnitten und so in einander gelegt sind. Die oberen Enden dieser Bänder reichen bis unter den massiven Ring, sind dort rechtwinklich umgebogen und jeder ist mit einem nach unten hervorstehenden Zapfen versehen, um welchen die vier Klammern b, b, b, b sich drehen lassen, welche über den Deckel A geschoben, diesen vermittelst der Schrauben c, c, c, c fest andrücken. Auſserdem gehen um den Topf die eisernen Reifen m, m, m .... 0,75 Z. breit und 0,5 Z. dick, welche für die eben genannten Bänder eingeschnitten sind, so daſs sie das Kupfer an allen übrigen Stellen unmittelbar berühren, welches letztere nach dem Verfertigen des Ganzen von Innen etwas herausgetrieben wird, damit die Reifen nicht herabfallen, und alles genauer verbunden ist. Der messingne Deckel A ist gleichfalls 2,5 Lin. dick, und weil das Aufschleifen von zwei so groſsen Flächen fast unmöglich ist, so ist der obere Ring stumpf konisch nach unten ausgedrehet, der Deckel aber hat einen, nahe genau hier hineinpassenden ringförmigen Vorsprung, welcher mit feinem, langfasrigem, durch etwas Unschlitt geschmeidig gemachtem Hanfe umwunden, und dann mit Gewalt aufgepreſst wird, wodurch der Hanf sich in eine undurchdringlich feste Masse verwandelt, durch etwaiges Eindringen des Dampfes ohnehin quillt, und so jedes Entweichen desselben bei gehöriger Vorsicht unmöglich macht. Dieses Mittel ist dann, wenn man ein dampfdichtes Schlieſsen erhalten will, sicher das beste, verstattet aber die Hitze nicht weiter zu treiben als bis zum Verkohlen des Hanfes, wodurch man indeſs über 250° R. also bis zu einem Drucke von 37 Atmosphären kommen

Fig. 173.

1 Schweigg. J. XXII. 208.

kann, über welche Grenze hinaus die Versuche überhaupt sehr schwierig und unsicher werden. Ein eisernes, mit Messing umgebenes, und in den Deckel beim Gusse hineingefügtes Gefäfs p enthält etwas Quecksilber, um das Thermometer r r hineinzusetzen und die Temperatur zu messen, welches alles, eben wie das Ventil q mit seinem Hebelarme l l und dem angehängten Gewichte v, aus der Figur deutlich wird. Rücksichtlich des Ventils scheint mir ein kleines, etwa 0,3 Lin. weites Löchelchen, oben flach und mit einer kleinen, genau aufgeschliffenen Stahlplatte bedeckt, unter allen die meiste Sicherheit zu geben, obgleich das vollkommene Schliefsen des Ventils die meisten Schwierigkeiten verursacht. Endlich ist inwendig ein auf dem Rande des konischen Ringes ruhendes Sieb von Kupferblech mit feinen Löchern angebracht, welches sich leicht herausnehmen läfst, und in welches diejenigen Substanzen gelegt werden können, welche man der Einwirkung der heifsen Dämpfe aussetzen will, ohne sie unmittelbar in die Flüssigkeit zu werfen.

Soll der Digestor zu ökonomischen und technischen Zwecken benutzt werden, so giebt rücksichtlich der letzteren, die individuelle Bestimmung die zu beobachtenden Bedingungen von selbst an. So läfst sich derselbe gewifs zur Bereitung von Firnissen, namentlich geistigen, für welche die harzigen Stoffe in Weingeist oder Terpentinspiritus aufzulösen sind, mit grofsem Vortheil anwenden, und da hierbei die Quantitäten nicht so bedeutend grofs sind, die Bereitung selbst aber durch einen Sachverständigen geschehen mufs, so kann ein den Erfordernissen angemessener Apparat nach der so eben mitgetheilten Beschreibung leicht verfertigt und gehandhabt werden.

Rücksichtlich des ökonomischen Gebrauches des Papinischen Digestors ist oben schon gesagt, dafs ein so zusammengesetzter, kostbarer und vorsichtig zu manipulirender Apparat nicht geeignet ist, als Küchengeschirr in den Haushaltungen aufgenommen zu werden. Aufserdem hat Proust durch seine Versuche gezeigt, dafs man die Knochen nur zu zerkleinern, zu zerstampfen nöthig hat, um auf die gewöhnliche Weise die Gelatina und das Fett daraus zu gewinnen [1]. Allein die aus

---

1 G. XXII. 167. Diese Methode wird meistens dem Cadet de

zerstampften und zermahlenen Knochen gewonnene Gelatina erhält einen unangenehmen Geschmack, und wird zu sehr mit feinen Knochentheilen, auch ihrer Gelatina beraubten, also erdigen, Substanzen gemengt. Aufserdem aber mufs man den grofsen Aufwand von Brennmaterial berücksichtigen, welchen ein sechsstündiges Kochen nach Proust erfordert. Um über den Bedarf an Brennmaterial und den Vortheil besser urtheilen zu können, welchen der Digestor gewährt, habe ich verschiedene Male vergleichende Versuche angestellt. Zuerst wurde eine gleiche Menge reiner Rindsknochen in einem irdenen, mit einem gewöhnlichen Deckel verschlossenen Topfe 3,5 Stunden, und im Digestor 1,5 Stunde, die letzte Hälfte der Zeit über gelindem Feuer und bei einer Temperatur von 100° bis höchstens 110° R. gekocht, worauf ich aus der letzteren Menge ohngefähr zweimal so viel Bouillon von gleicher Stärke und nahe 2,5 mal so viel Fett erhielt, als aus der ersteren, ohne dafs die Knochen gänzlich extrahirt waren, indem sonst der Bouillon leicht einen unangenehmen Geschmack erhielt. Brachte ich dann die im gewöhnlichen Topfe gekochten Knochen abermals in den Digestor, und verfuhr auf gleiche Weise, so erhielt ich nochmals eine gleiche Quantität Bouillon und fast doppelt so viel Fett, als vorher aus ihnen gewonnen war, welche Resultate also genau mit einander übereinstimmten. Das Feuer unter dem gewöhnlichen Topfe wurde zwar vorsichtig regiert, allein dennoch stieg die erforderliche Menge Brennmaterial nahe auf das Fünffache dessen, was der Digestor erforderte. Wenn man nun berücksichtigt, dafs in der angegebenen Zeit das anfänglich aufgegossene Wasser fast gänzlich verdampfte und durch neu hinzugegossenes ersetzt wurde, so folgt aus den Gesetzen des latenten Wärmestoffes, dafs zu dieser Heizung und Verdampfung 6,4 und zur Erhitzung des zugegossenen Wassers bis zur Siedehitze noch 1 an Brennmaterial erfordert wurde, wenn man von 0° Temperatur ausgeht, als zur Erhebung des Wassers im Digestor bis zur Siedehitze nöthig war. Rechnet man aber darauf, dafs das Wasser im Digestor bis nahe 110° R. erhitzt

---

Vaux zugeschrieben, welcher sie später empfohlen hat. Aehnliche Vorschläge von Hausmann S. Einfaches Mittel, die Beköstigung der vor dem Feinde stehenden Heere u. s. w. zu erleichtern. Gött. 1815. 8.

wurde, so erfordert der gewöhnliche Topf mehr als 5 mal so viel Brennmaterial, und wenn man das im Digestor erhaltene Product zu 2 annimmt, so steht der Aufwand, welchen derselbe an Brennmaterial gegen einen gewöhnlichen Topf in diesem Falle gewährt, im Verhältnifs von 1 : 10, und ist hiernach der zu erhaltende Vortheil keinen Augenblick zu verkennen.

Man hat indefs in den neueren Zeiten nach D'ARCET [1] angefangen, die Knochen ohne Hülfe des Feuers auf chemischem Wege zu zerlegen, um die Gelatina ohne die erdigen Theile zu erhalten, welches im Allgemeinen durch folgendes Verfahren geschieht. Zuerst legt man die gereinigten Knochen in eine kaustische Kalilauge, um das Fett zu extrahiren, wobei das Kali nicht eigentlich verloren wird, indem man das damit verbundene Fett durch Feuer zerstören und dasselbe somit wieder erhalten kann. Hiernach werden die rein gewaschenen Knochen mit vielem Wasser in Tröge, am besten steinerne, gethan, und wiederholt der Einwirkung von zugegossener Salzsäure ausgesetzt, welche die erdigen Theile auflöset, und mit dem abgelassenen Wasser abfliefst, bis die blofse Gelatina zurückbleibt. Die Beinknochen der Ochsen behalten hierbei ganz ihre Form bei, werden wiederholt mit Wasser gewaschen, der Länge nach aufgeschnitten, ganz zuletzt in kochendes Wasser blofs einmal eingetaucht und an der Luft langsam getrocknet, worauf sie sich lange aufheben lassen, und mit Wasser und Salz gekocht einen vortrefflichen Bouillon geben sollen.

Der eigentliche *Papinische Digestor* ist zwar aus den oben angegebenen Gründen in der Oekonomie für den gewöhnlichen Gebrauch nicht geeignet, aber eben so sicher ist auch die nachgewiesene grofse Ersparnifs von Brennmaterial durch denselben. Ist nämlich ein dampfdicht verschlossener Topf einmal bis zur Siedehitze erwärmt, so darf nur so viel Wärme stets zugeführt werden, als derselbe an die umgebende Luft abgiebt, welche Menge sehr geringe ist. Aufserdem aber läfst sich die Temperatur leicht einige Grade über den Siedepunct erhöhen, und dadurch ohne den nachtheiligen Einflufs einer

1 Ann. de Chim. XCII. 300. Schweigg. J. XIII. 349.

zu starken Hitze ein schnelleres Erweichen der Speisen erlangen. Es ist daher in der That zu verwundern, daſs man in unsern indüstriösen Zeiten eine in England sehr gemeine Art eiserner Digestoren nicht allgemeiner eingeführt hat, welche leicht zu behandeln, gefahrlos und obendrein nicht kostbar sind, da man sich doch der für die Gesundheit unschädlichen, obgleich durch Färbung der Speisen zuweilen etwas unangenehmen, eisernen Kochgeschirre so häufig bedient. Sie bestehen aus einem gewöhnlichen eisernen Topfe A, von beliebiger Form und Gröſse, mit einem nach Auſsen etwas umgebogenen Rande, in welchen der Deckel mit seinem vorstehenden Ringe $\gamma\gamma$ eingeschliffen ist. Der Rand des Deckels trägt zwei einander diametral gegenüber stehende, hier im Durchschnitte angedeutete, etwas aufgebogene Arme α, α, unter welche die nach dem Einschleifen auf dem Deckel befestigten Vorsprünge β, β sich beim Herumdrehen des Deckels um seine Axe festklemmen, und auf diese Weise den Deckel andrücken, welcher ohnehin durch sein eigenes Gewicht schon festliegt, und durch eine leichte Drehung in die erforderliche Lage gebracht und so befestigt werden kann. Der Deckel ist in der Mitte etwas dicker, hat daselbst die stark konische Oeffnung und das eingeschliffene Kegelventil δ, mit dem Stiele λ, welcher durch die Handhabe $\nu\nu$ so gesteckt ist, daſs das Ventil sich zwar heben, aber nicht herausfallen kann. Wird ein solcher Topf auf die gewöhnliche Weise zum Kochen benutzt, und das Wasser in demselben nur wenige Grade über die Siedehitze erwärmt, so werfen die Dämpfe das Ventil in die Höhe, und je öfter dieses geschieht, um desto mehr muſs man das Feuer unter demselben mäſsigen, welches die einzige dabei zu beobachtende Regel ist. *M.*

Fig. 174.

Dioptrik.

Dioptrica; dioptrique; *dioptrik;* ist derjenige Theil der Lehre vom Lichte, welcher den *Durchgang des Lichtes durch durchsichtige Körper* betrifft.

Wenn der Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Körper, in geneigter Richtung gegen die Oberfläche, in einen andern übergeht, so wird er gebrochen, und die Untersuchung über die Gesetze dieser Brechung im Allgemeinen, und die Gröſse der-

selben bei einzelnen Körpern, macht daher einen Haupttheil der Dioptrik aus. An diese Lehre schliefst sich die Untersuchung über die Brechung in Körpern von gegebener Gestalt, wobei die Brechung in Linsengläsern einen vorzüglichen Platz einnimmt, da auf ihr die Kenntnifs von dem Bau des Auges, von dem Nutzen der Brillen, der einfachen Vergröfserungsgläser u. s. w. beruht. Aus der richtigen Verbindung mehrerer solcher Gläser entstehen die Fernröhre und Mikroskope, deren Anordnung die Dioptrik lehrt. Sie handelt ferner von der ungleichen Brechung der verschiedenen Farbenstrahlen, der Brechung des Lichts in der Atmosphäre; und die Erklärung mancher optischer Erscheinungen, des Regenbogens, der Luftspiegelung u. s. w. hängen von ihr ab. Auch die Lehre von der Beugung des Lichts pflegt man hieher zu rechnen.

Ganz unbekannt waren auch die Alten nicht mit ihren Lehren, indem sich in Ptolemaeus Optik [1] Versuche über die Brechung des Lichtes finden. Etwas mehr vervollkommneten Alhazen und Vitellio (im 12ten und 13ten Jahrh. nach Christo) diese Wissenschaft [2], indem sie diese Versuche über die Brechung der Lichtstrahlen bei verschiedenen Einfallswinkeln vermehrten. Dennoch war an eine theoretische Entwickelung der Gründe, warum Gläser von gewissen Formen den alten Fernsichtigen das Sehen erleichtern, noch nicht gedacht worden, als um das Ende des 13ten Jahrhunderts die Brillen erfunden wurden. Auch Maurolycus [3] und Porta (der Erfinder der camera obscura) [4] brachten die Wissenschaft nicht erheblich weiter, wenn gleich des Maurolycus Betrachtungen über die Brechung in Kugeln u. s. w. immer recht schätzbar sind.

Kepler's [5] Bemühungen waren auch dieser Wissenschaft von grofsem Nutzen. Er untersuchte die Brechung genauer, und fand eine Regel dafür, die zwar noch von der Wahrheit

---

1 Vergl. Art. *Brechung*.

2 Ihre Schriften stehen in Risneri thesaurus opticae. Basil. 1572.

3 De lumine et umbra. Venet. 1575.

4 Magiae naturalis Libri IV. Neap. 1558.

5 Paralipomena ad Vitellionem Francof. 1604. und Dioptrice s. demonstratio eorum, quae visui et visibilibus propter conspicilla accidunt. Aug. Vind. 1611.

abwich, aber doch derselben nahe genug kam, um den Bau des Auges und die Wirkungen der Fernröhre richtig zu erklären. Von ihm rührt auch der Name *Dioptrik* her, neben welchem doch auch der Name *Anaklastik* von vielen gebraucht worden ist. Zu seiner zweiten Schrift hatte die Entdeckung der Fernröhre Veranlassung gegeben, um deren Vervollkommnung Kepler sich bedeutende Verdienste erwarb.

Die Entdeckung des wahren Gesetzes der Brechung durch Snellius [1], welches Cartesius zuerst bekannt machte [2], und weitere Untersuchungen darauf gründete, machte es endlich möglich, die dioptrischen Untersuchungen mit geometrischer Strenge fortzuführen, und Folgerungen, die mit der Natur übereinstimmend waren, und Nutzen in der Anwendung gewährten, darauf zu gründen. Huygens [3] gab hiervon ein schönes Beispiel; er bestimmte die Erscheinungen, die sich durch eine Linse und durch mehrere Linsen darstellen müssen, gab die vortheilhafte Anordnung der Fernröhre genauer an u. s. w.

Auch Gregory [4] und Barrow [5] trugen durch ihre Schriften zur Vervollkommnung dieser Wissenschaft bei, und Kircher [6], Schott [7] Zahn [8] die sich mit Verbesserung der optischen Instrumente beschäftigten, verdienen gleichfalls als Beförderer der Wissenschaft genannt zu werden. Doch verdient von Huygens noch besonders angeführt zu werden, daſs er die Untersuchungen über die doppelte Brechung des Kalkspaths durch seinen Fleiſs im Beobachten und seinen Scharfsinn im Erklären so weit förderte, daſs fast ein ganzes Jahrhundert verfloſs, ehe diese Lehre durch neue bedeutende Erweiterungen vervollkommnet wurde.

Die Lehre von den Farben war in dieser ganzen Zeit noch nicht als der Dioptrik angehörend behandelt worden; denn ob-

---

1 Vergl. Art. *Brechung*.
2 Cartesii dioptrica.
3 Hugenii dioptrica in s. opp. posth. Lugd. Batav. 1703.
4 Elem. catoptrices et dioptrices. Oxon. 1695.
5 Lectiones opticae. Lond. 1674.
6 Ars magna lucis et umbrae. Romae 1646.
7 Magica universalis Pars. I. Optica. Francof. 1657.
8 Zahn oculus artifitialis telediopricus. Herbipoli. 1685.

gleich man vieles über die Farben geschrieben hatte [1], so hatte man sie doch meistens nur als eine Mischung von Licht und Schatten, welches doch eigentlich heifst, von Licht und Finsternifs, angesehen, und diese, keiner deutlichen Entwickelung fähige Vorstellung konnte keine geometrische Betrachtung darbieten. Newton [2] entdeckte zuerst die ungleiche Brechbarkeit der farbigen Strahlen und die Zerstreuung, welcher das weiße Licht bei der Brechung unterworfen ist, indem aus dem weißen Lichtstrahle farbige Strahlen, jeder anders als der andre gebrochen hervorgehen. Diese verschiedene Brechbarkeit bot nun einen reichen Gegenstand zu weitern Untersuchungen dar; sie zeigte den Grund, warum die Gegenstände im Fernrohr farbig erschienen, und setzte in Stand, die einer jeden Farbe zugehörige Lage des Brennpuncts bei Linsengläsern zu berechnen, und dadurch aber auch zu bestimmen, dafs hieraus eine durch keine Abweichung von der Kugelform zu hebende Undeutlichkeit des Bildes im Fernrohr entstehen müsse. Diese Ueberzeugung und die (nachher als irrig erkannte) Meinung Newtons, dafs auch Gläser aus verschiedenartigen Materien zusammengesetzt, die Farbenzerstreuung nie heben könnten, veranlafste ihn, die gehoffte gröfsere Vervollkommnung der dioptrischen Fernröhre als ganz unmöglich anzusehen, und daher die Spiegelteleskope zu empfehlen. Diese Meinung blieb lange geltend, da man (allerdings vielleicht geblendet durch Newtons Autorität) nicht überlegte, dafs die Versuche, wodurch die Unmöglichkeit, vermittelst zusammengesetzter Gläser farbenlose Bilder zu erhalten, erwiesen seyn sollte, viel zu unvollkommen wären. Euler [3] gab zuerst den Gedanken von der Möglichkeit farbenloser Gläser an, und Dollond verfertigte [4] sie wirklich. Die grofse Verbesserung, welche dadurch die Fernröhre erhielten, ist bekannt, und da die Hindernisse, welche in der Unvollkommenheit der Glasarten lagen, nach und nach immer vollständiger überwunden werden, so dürfen wir hoffen, dafs die grofse Entdeckung

---

1 worüber v. Göthe's Farbenlehre kann nachgesehen werden.

2 Optice s. de reflexionibus, refractionibus et coloribus lucis ed. Sam. Clarke. Laus. et Genevae 1740. 4.

3 Mém. de l'acad. de Berlin. 1747. S. 274.

4 S. Art. *Fernrohr; achromatische Fernröhre.*

[der] achromatischen Fernröhre noch immer neue und gröfsere [Ve]rbesserungen der Instrumente herbeiführen wird. Die un[ge]meinen Fortschritte, welche in den neuesten Zeiten die Kunst, [gr]ofse und sehr vollkommene dioptrische Fernröhre zu verfer[ti]gen, durch FRAUENHOFERS Bemühungen gemacht hat [1], läfst [ho]ffen, dafs wir das höchste Ziel noch nicht erreicht haben, [un]d dafs dieser treffliche Künstler seine, von niemand über[tr]offenen, Fernröhre noch selbst übertreffen wird. Auch die [üb]rigen optischen Werkzeuge haben nach und nach grofse Ver[be]sserungen erhalten, die hier nicht im Einzelnen erzählt wer[de]n können.

Die Darstellung optischer Untersuchungen in analytischer [re]chnender Form hatte zwar HALLEY [2] schon zu Bestimmung [de]r Brennweite der Linsengläser angewandt, aber KÄSTNER war [de]r erste, der eine vollständige Anwendung der analytischen [Re]chnungen auf die Dioptrik lieferte [3]. CLAIRAUT, d'ALEMBERT [un]d KLINGENSTIERNA wandten diese Untersuchungen nur auf die [ac]hromatischen Fernröhre an; L. EULER aber suchte alles, was [zu]r Dioptrik gehört, in Formeln darzustellen, und seine Diop[tr]ik [4] ist unstreitig als theoretische Darstellung sehr schätzens[w]erth, wenn gleich die Vervollkommnung der Instrumente we[de]r durch seine Untersuchungen, noch durch die Untersuchun[ge]n KLÜGELS [5] so viel scheint gewonnen zu haben, als der in [d]iesen Werken entwickelte Scharfsinn hoffen liefs.

Mit neuen, grofsen Entdeckungen wurde die Dioptrik erst [i]n den neuesten Zeiten wieder bereichert, da die Erweiterun[ge]n, welche die Lehre von der doppelten Brechung erhielt, und [d]ie daran sich knüpfende Lehre von der Polarisirung des Lich[te]s, ganz neue und unerwartete Entdeckungen darboten. MA[L]US, BIOT, SEEBEK, BREWSTER und HERSCHEL haben sich um die [E]rweiterung dieser Lehre am meisten verdient gemacht. Auch

---

1 Von einem der vorzüglichsten Fernröhre Frauenhofers giebt [Nach]richt in v. Zach Correspondance astronomique. XII. 282.

2 Philos. Transact. for 1693.

3 Smiths Lehrbegriff der Optik, mit Zusätzen von Kästner. Al[t]enburg. 1755.

4 Dioptrica auct. Leonh. Eulero. 3 Vol. 4. Petrop. 1769.

5 Klügels analytische Dioptrik. Leipz. 1778. 4.

von Göthe's Untersuchungen über die Farbenlehre [1] dürfen hier nicht unerwähnt bleiben, obgleich sie weniger der eigentlichen Dioptrik als der Lehre von den physiologischen Farbenerscheinungen Nutzen gebracht haben.

Die Geschichte der Dioptrik ist von Priestley [2] abgehandelt und sein Werk durch Zusätze von Klügel verbessert worden; aber dieses, jetzt 50 Jahre alte Buch, würde allerdings bedeutende Zusätze erfordern, um den gegenwärtigen Zustand der Wissenschaft richtig darzustellen.

Lehrbücher, die der Dioptrik allein gewidmet, den jetzigen Zustand dieser Wissenschaft ganz befriedigend darstellten, besitzen wir, soviel mir bekannt ist, nicht, indem

Langsdorf's Grundlehren der Photometrie oder der optischen Wissenschaften. 2 Theile. Erlangen. 1803 sich durch den schwerfälligen Vortrag nicht empfehlen, und

Bischoff's praktische Abhandlung der Dioptrik. Neue Auflage. 1800 — nicht umfassend genug ist.

In den ausführlichern Lehrbüchern der Physik nimmt zwar die Dioptrik einen sehr bedeutenden Platz ein, aber die ausgeführte mathematische Untersuchung über Fernröhre u. s. w. kann gleichwohl dort nicht abgehandelt werden. Umständlicher als andre Lehrbücher der Physik behandelt Robison die Anwendungen der Mathematik auf die Dioptrik in

Robisons system of mechanical philosophy. (New Edition with notes by Brewster. 1822.) 4 Volumes. 8.

Die physikalischen Lehren sind in

Biot's traité de physique, mathématique et expérimentale. Tome III. IV. mit grofser Vollständigkeit vorgetragen, aber die mathematischen Untersuchungen über Fernröhre, Mikroskope u. s. w. gehörten nicht in seinen Plan. *B.*

Dipsector.

Ein im J. 1817 von Dr. Wollaston angegebenes Instrument, um auf dem Meere die Depression des Horizontes zu messen

---

1 Zur Farbenlehre, von Göthe.

2 Priestley's Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik, übers. mit Zusätzen von Klügel. 1776.

s aus dem Englischen *Dip* (Tiefe des Horizontes) und *ctor*, welches ein Messinstrument von wenigen Graden be-
net. MNOP stellt die Fläche des Dipsectors dar, so wie Fig. 175.
Beobachter denselben in verticaler Richtung am Handgriff R
sich hält. In A und B sind senkrecht auf die Ebene des
ruments zwei Spiegel, welche einen rechten Winkel mit ein-
er bilden; A ist fest, und nur an der untern Hälfte belegt,
n durchsichtig; B ist um ein Centrum beweglich, ist ganz
gt und trägt die Alhidade BL, welche auf dem Gradbogen
, den Winkel angiebt. FTG ist ein Fernrohr, parallel mit
Ebene des Sectors, an dem Träger T befestigt. Bei G tritt
demselben winkelrecht gegen den Beobachter die Ocular-
re heraus, welche die aus A durch das Objectiv F kommen-
Strahlen nicht directe, sondern durch einen im Fernrohr
ter G befindlichen um 45° geneigten Spiegel reflectirt em-
ngt. Der Träger T läſst sich auf die bei den Sextanten ge-
achliche Weise heben und senken, um je nach Erforderniſs
r Strahlen vom belegten oder vom durchsichtigen Theile des
egels A ins Auge gelangen zu lassen. Die Handgriffe Q und R
nen um durch das Instrument in aufrechter sowohl als um-
ehrter Stellung beobachten zu können.

Der Gebrauch dieses Instruments ist folgender: Gesetzt der
fahrer wollte zum Behuf einer Mittagsbeobachtung die De-
sion des südlichen Horizontes auf seinem Schiffe untersu-
n, so stellt er sich mit dem Angesicht gegen Osten, und
t den Dipsector am Handgriff R gerade vor sich. In das
lar bei G hineinsehend, erblickt er durch den unbelegten
il des Spiegels A den Horizont H im Norden; sodann be- Fig. 176.
t er die Alhidade L so lange gegen P hin, bis er den süd-
ten Horizont h, dessen Bild von B nach A geworfen wird,
dem Erstern in Berührung bringt. Er miſst auf diese Weise
Bogen HZh, und das Instrument zeigt ihm den Ueberschuſs
ses Winkels über 180°. In unveränderter Stellung des Kör-
s kehrt er nun den Dipsector in verticaler Richtung um,
l ergreift die Handhabe Q. Im Ocular G wird er alsdann
ch den unbelegten Theil von A den südlichen Horizont h di-
te wahrnehmen, muſs aber um das Bild des nördlichen Hori-
tes H mit diesem in Berührung zu bringen, die Alhidade
h O hin bewegen, wodurch er den Bogen HNh oder den

Defect von 180° erhält. Der halbe Abstand beider Angaben von einander giebt nun (frei vom Indexfehler) die Summe der Depressionen des südlichen und nördlichen Horizontes; ihre Hälfte wird für die gesuchte Erniedrigung des Südhorizontes in Beziehung auf die Höhe CD des Beobachters über dem Meere, und die Wirkung der Refraction angenommen.

Beispiel. Auf der Reise nach der Baffinsbay machte Capt. Ross den 29. Aug. 1818 folgende Beobachtung mit dem Dipsector. Richtung NE und SW nach dem Compafs. Bewölkter Himmel. Breite des Orts 75° N; Länge 77° W. Temperatur des Wassers an der Oberfläche 36° F. (1°,8 R.) Temperatur der Luft 34° F. (0°,9 R.).

	Die Alhidade oben.		Die Alhidade unten.
	2° 46′ 50″		2° 59′ 45″
	2 46 59		2 59 55
	2 46 41		3 0 15
Mittel	2 46 50	Mittel	2 59 58

Unterschied = 13′ 8″; hiervon der vierte Theil
= 3′ 17″ beobachtete Depression des Horizontes.
4 11; Depression des Horizontes nach Mendoza's Tafeln
——— für die Höhe von 18 Fufs.
— 54″; Erhebung des Horizontes durch ungewöhnliche Refraction.

Der Indexfehler dieses Instruments war also = 2° 53′ 24″. Die Beobachtung läfst sich, wie man leicht einsieht, nicht nur durch Umkehrung des Instruments variiren, sondern auch dadurch, dafs der Beobachter sein Azimuth um 180° verändert, so dafs er mit umgekehrtem Instrumente den nämlichen Punct des Horizonts directe ansieht. Wesentlich ist es, dafs das Instrument genau vertical gehalten werde, weil sonst die Horizonte sich durchschneiden, nicht berühren.

Der Nutzen des Dipsectors zur genauen Bestimmung der bei den zur See gemessenen Höhen anzubringenden Correction, läfst sich nicht verkennen. In Meeren von geringer Tiefe beträgt die Veränderung der scheinbaren Höhe des Horizontes oft 3 bis 4 Minuten. Der Einflufs dieses Fehlers ist nicht nur bei Breitenbestimmungen, sondern eben so sehr bei den Höhen, die zur Zeitbestimmung und der geographischen Länge gebraucht wer-

den, von Wichtigkeit. Da jedoch schwerlich anzunehmen ist, daſs die Hebung oder Senkung des Horizontes durch die veränderliche Wirkung der Refraction im ganzen Umkreis desselben die nämliche sey, so möchte es dienlich seyn, die Degression mit dem Dipsector in verschiedenen Durchschnitten zu untersuchen, und überhaupt die Differenz der Angaben des Instruments nicht geradezu durch 4 zu dividiren; sondern von der Hälfte desselben die Degression der Tafeln abzuziehen; der Rest gäbe dann die wirkliche Erniedrigung desjenigen Punctes am Horizonte, in welchem das Spiel der Refraction vorherrschend ist. Daſs bei solchen Beobachtungen der Stand des Barometers und Thermometers, die Temperatur und Tiefe des Wassers, und alle auffallenden Umstände notirt werden sollten, bedarf keiner Erinnerung. Die Leichtigkeit, mit welcher vermittelst des Dipsectors die Beobachtung der terrestrischen Strahlenbrechung angestellt werden kann, macht öftere Untersuchungen derselben von der Hand geschickter Seefahrer sehr wünschenswerth, sie könnten uns allmälig über den wahrscheinlichsten Werth des in den Tafeln angenommenen Refractions-Coefficienten und über die Modificationen desselben (je nach dem Zustande der Atmosphäre, der Temperatur und Tiefe des Wassers) eine für die Nautik nicht überflüssige Belehrung verschaffen.

Der *Dipsector* lieſse sich auch mit Vortheil zur Bestimmung der Depression der Küsten, mithin ihrer Entfernung gebrauchen; und dadurch den oft schwankenden, durch Beleuchtung und die Beschaffenheit des Landes oft irregeleiteten Schätzungen eine nützliche Berichtigung gewähren. *H.*

Dissonanz. S. Ton.

Dokimasie.

Probirkunst; *Docimasia ars, Docimastica*; **Docimasie** (von δοκιμασία Läuterung, Prüfung) ist derjenige Theil der analytischen Chemie, welcher die in natürlichen und künstlichen Gemischen vorkommenden, im gemeinen Leben brauchbareren, schweren Metalle ihrer Natur und Menge nach bestimmen lehrt. *G.*

Donner.

Donnerschlag, Donnerknall; *Tonitru;* Tonnerre; *Thunder, Thunderclap;* heifst der mit dem Ausbruche des Blitzes verbundene Knall. Dieses zu dem Schreckenden der Gewitter besonders beitragende Phänomen ist schon von den Alten einer Erschütterung der Luft zugeschrieben worden, nur über die Art und Veranlassung dieser Erschütterung waren die Meinungen verschieden. Seneca [1] stellte sich die Gewitterwolken als grofse Blasen voll Luft vor, die zuweilen aufgehen, und die eingeschlossene Luft heraus lassen. Des Cartes [2] setzte voraus, die Wolken beständen aus bloſsen Schneetheilchen. Weil er nun auf den Alpen selbst gehört hatte, dafs die grofsen Schneelavinen, die von den Bergen herab in die Thäler rollen, ein dem Donner ähnliches Krachen verursachen, so glaubte er, der Donner werde durch den Fall oder das Herabstürzen einer Wolke auf die andere verursacht, der Blitz aber sey die Entzündung der feuerfangenden Theilchen, welche in der Luft schwebten, und durch das bei der Zusammenpressung entstehende Reiben entzündet würden. Andere haben den Donner für das Poltern grofser in der Luft an einander stofsender Eisschichten erklärt. Noch thörichtere Meinungen über Blitz und Donner erzählt Schott [3].

Erst seitdem man die Aehnlichkeit des Blitzes mit dem elektrischen Funken und Schlage (nachdem schon im Jahre 1708 Dr. Wall dieselbe zuerst bemerkt, dann aber durch Nollet im Jahre 1743, durch Winkler im Jahre 1746 als Satz aufgestellt, und endlich durch Franklin im Jahre 1747 und besonders durch seine und De Romas Versuche mit dem elektrischen Drachen im Jahre 1752 in das hellste Licht gesetzt worden war) schien in der Analogie dieser beiden Erscheinungen zugleich auch die einfache Erklärung jenes merkwürdigen Phänomens des Donners gegeben zu seyn. Jeder Ausbruch eines elektrischen Funkens oder Schlags giebt einen Laut, indem die Luft, durch welche er bricht, mit Gewalt getrennt, und wie

1 Quaest. natur. II. 16.
2 Meteor. Cap. 7.
3 Physica curiosa. Herbipoli 1667. Lib. X. c. 2.

man sich gewöhnlich ausdrückt, erschüttert wird. Auch ist dieser Laut oder Knall desto stärker, je gröſser oder dichter der Funken oder Schlag ist, und je mehr Widerstand er auf dem Wege findet, durch den er gehen muſs, d. h. je häufiger und stärker die Explosionen sind, die er während seines Ueberganges zum Ziele zu machen genöthigt wird. So naturgemäſs nun beim ersten Anblick dadurch die Erklärung des Donners geworden zu seyn scheint, so ergeben sich doch bei näherer Vergleichung mancherlei Schwierigkeiten, da beim Donner gewöhnlich Erscheinungen vorkommen, von denen uns unsere elektrischen Funken und Schläge durchaus nichts ähnliches zeigen, wozu vorzüglich das so merkwürdige Rollen des Donners gehört, wozu denn noch der Umstand kommt, daſs selbst das dem ersten Anschein nach so einfach zu deutende Phänomen des durch den gewöhnlichen elektrischen Funken oder Schlag entstehenden knackenden oder schnappenden Lautes selbst, was seine eigentliche nächste Ursache betrifft, verschiedene Erklärungen zuläſst. Man wird es also um so weniger auffallend finden, daſs jetzt noch die Erklärungen der verschiedenen Physiker von Ansehen über die wahre Ursache des Donners wesentlich von einander abweichen, da der ganze Vorgang des Gewitters [1] noch in solches Dunkel eingehüllt ist, und den Hypothesen einen freien Spielraum läſst. Ehe wir indessen diejenigen Ansichten, die wegen des Namens ihrer Bekenner, oder wegen ihres innern Gehalts hier berücksichtigt zu werden verdienen, mittheilen, und kritisch beleuchten, wollen wir das ganz im allgemeinen bestimmte Phänomen des Donners noch in seinen Hauptmodificationen etwas näher beleuchten. In dieser Hinsicht ist vorzüglich das Geräusch und Getöse, welches das Einschlagen des Blitzes begleitet, von dem eigentlichen *Rollen des Donners* zu unterscheiden. Im Allgemeinen ist der einschlagende Blitz entweder ein *kurzer Donner*, einem Kanonenschusse gleichend, oder ein *knatternder*, *rasselnder Donner*. Als Beleg zum ersten dient eine von Reimarus angeführte Beobachtung, wo man den Blitzstrahl deutlich in einigem Abstande von einem Schiffe in die See fahren sah, und doch der

1 Vergl. *Blitz*.

Knall und die Erschütterung dabei so stark war, als wenn eine Kanone zwischen dem Verdeck gelöst wird. Bei zweien Wetterschlägen, welche die Masten eben dieses Schiffes trafen, war der Knall viel schwächer, und glich mehr einem Geräusche als einem Kanonenschusse [1]. Wenn der Blitz in ein Gebäude einschlägt, oder sonst einen ausgedehnten Körper, der kein vollkommener Leiter ist, trifft, wo er an verschiedene Orten Sprünge machen muſs, so läſst sich zwischen diesen successiven Explosionen ein geringer Zwischenraum der Zeit bemerken, und es entsteht jener rasselnde, vielleicht eine viertel oder halbe Secunde anhaltende Laut, der dem Schalle bei dem Zerreiſsen eines Papiers ähnlich ist, und sich von dem Wiederhalle auſsen, in der Luft, sehr wohl unterscheiden läſst [2]. Ob auch unabhängig vom eigentlichen Einschlagen kurze einfache Donnerschläge vorkommen können, ist wohl nicht mit völliger Sicherheit zu entscheiden. Die viel gewöhnlichere Erscheinung beim Donner ist aber der mehr gedehnte Schall, oder das sogenannte Rollen desselben, das oft mehrere Secunden dauert, und wobei dasselbe nicht an Stärke abnimmt, sondern vielmehr in Zwischenräumen von Zeit zu Zeit verstärkt erscheint, und oft stoſsweise mit furchtbaren Schlägen untermengt ist. Sehr oft findet dieses Rollen ohne sichtbare Blitze statt, und zeigt sich ganz unabhängig vom eigentlichen Einschlagen des Blitzes, bei welchem vielmehr gerade das Rollen gemeiniglich fehlt, wenn nicht etwa besondere Localitäten durch einen Wiederhall dasselbe veranlassen. Bei Gewittern, die sich in reichlichen Hagel auflösen, hört man oft dieses Rollen über den dicken grauen Wolken wunderbar hin und her wogen, ohne daſs Blitze aus denselben ausfuhren, und bald nachher stürzt reichlicher Hagel gewaltsam herunter.

Was nun den *mehr augenblicklichen heftigen Donnerschlag* oder das knatternde Geräusch beim Einschlagen betrifft, so glaubte man dies durch die Erschütterung der Luft, die der Blitzstrahl, gerade so wie der elektrische Funken, nur im Verhältniſs der ungemein viel gröſseren Masse von durchbrechender elektrischer Materie in einem verhältniſsmäſsig viel

1 Reimarus, Neuere Bemerkungen. S. 10.

2 Reimarus, erste Abh. vom Blitze. S. 252.

höheren Grade hervorbringen müſste, erklären zu können, und insbesondere jenes rasselnde Geräusch beim Einschlagen in Gebäude aus den Platzungen, welche die elektrische Materie in den Stellen macht, wo sie Hindernisse findet, sich darum auf ihrem Wege erst anhäuft, und mit verstärkter Kraft durchbricht. Was aber das *Rollen des Donners* betrifft, so nahm man vorzüglich zum Echo oder Wiederhall seine Zuflucht. Gehler äuſserte sich in letzterer Hinsicht [1] auf folgende Weise: „die verschiedenen Flächen der Wolken und der Gegenstände „auf der Erde werfen den Schall auf so mannigfaltige Weise „und in so mancherlei Entfernungen zurück, daſs nothwendig „ein merklicher Zeitraum verflieſsen muſs, ehe die ganze hier- „aus entstehende Wirkung geendigt ist. Daher ist das Brüllen „des Donners in gebirgigen Gegenden gemeiniglich weit anhal- „tender und fürchterlicher, als auf dem platten Lande. Wer „die Wirkung des Echos in gebirgigen Gegenden nur einmal ge- „hört hat, wird nicht mehr zweifeln können, daſs dieses die „wahre und vornehmste Ursache von dem anhaltenden Getöse „des Donners sey. Auf dem Oybin bei Zittau in der Ober- „Lausitz [2] hörte ich selbst den Schall eines kleinen Mörsers „durch das Echo vervielfältigt, welches dem stärksten und an- „haltendsten Donner nachahmte.“ Daſs indessen diese Erklärung aus dem Wiederhall nicht ganz genügen konnte, schien daraus hervorzugehen, daſs das Rollen des Donners auch in ganz ebenen Gegenden, auf dem Meere in weiter Entfernung von dem Lande gleichmäſsig vernommen wird, und so machte dann schon Lichtenberg [3] darauf aufmerksam, daſs man noch andere Gründe zu Hülfe nehmen müsse, um alle Modificationen beim Donner zu erklären, welche noch nicht ganz zur Deutlichkeit gebracht seyen. Hierzu kam noch, daſs der Begriff der Lufterschütterung ein unbestimmter war. Indem nun die Physiker, welche durch diese Erklärung nicht befriedigt seyn konnten, das Phänomen des Donners mit den besondern Vorgängen beim Gewitter zu verknüpfen suchten, bildeten sich vorzüglich zwei Hauptansichten, wovon die eine den Donner

---

1 Phys. Wörterb. Bd. 1.

2 S. Leske Reise durch Sachsen. S. 501.

3 Erxleben's Anfangsgründe der Naturlehre. 6te Auflage. §. 752.

nicht als die unmittelbare Wirkung der durch die luftbrechenden elektrischen Materie oder des Blitzes, sondern als die Folge eines ganz andern Vorganges, von welchem beide als abgesonderte Erscheinungen gleichmäſsig abhingen, erklärte, die andern hingegen zwar im Allgemeinen die ältere Theorie festhielt, aber in einigen wesentlichen Puncten schärfer bestimmte, und mit allen Phänomenen in eine genauere Uebereinstimmung zu bringen suchte. Zu der ersten Ansicht scheint sich zuerst Busse bekannt zu haben. Er erinnert [1], man müsse sich eine schreckliche Feuermasse unter dem Blitze vorzustellen wissen, wenn man die bloſse Zertheilung der Luft für hinlänglich halte, einen so volltönenden Donner hervorzubringen. Hier könnten vielleicht einige musikalische Kenntnisse dem Physiker zu statten kommen, besonders was über die Dicke (!) (oder Fülle) des Tons zu erörtern sey, als eine Modification seiner Stärke betrachtet. Nach den neuesten Einsichten sey es wohl gewiſs genug, daſs eine gewisse Donnerluft dafür entwickelt werde, auch hätten schon ältere Physiker erinnert, daſs der Donner nicht durch bloſses Zusammenschlagen der Luft ohne Hülfe einer knallenden Materie zu erklären sey.

Statt einer bloſsen hingeworfenen Idee stellt De Lüc in dem Sinne der ersten Ansicht eine umständliche und den einzelnen Erscheinungen des Gewitters angepaſste Erklärung des Donners [2] auf, und man kann ihn eben darum für den Hauptrepräsentanten dieser Ansicht halten. Er betrachtet die Ursachen, die man insgemein von dem Rollen des Donners angiebt, als ein Beispiel, wie weit man sich durch die schwankenden Assimilationen des Gewitters mit unsern elektrischen Versuchen von der Wahrheit entfernt habe. Nach der Hypothese einer einfachen Entladung erkläre man den Donner aus dem Durchgange des elektrischen Funkens von einer Wolke zur andern, und daſs der Schall anhaltend sey, obgleich die Erleuchtung nur einen Augenblick dauert, das suche man dadurch begreiflich zu machen, daſs das Licht und die Ausstrahlung der elektrischen Flüssigkeit unendlich geschwind sey, in

1 Beruhigung über die neuen Wetterleiter. Leipzig 1791. 8. S. 35.

2 Grens Journal der Physik. IV. 207. §. 231.

Vergleichung mit der Zeit, welche der Schall gebraucht, um eben dieselben Räume zu durchlaufen, und von den verschiedenen Stellen seiner Bahn bis zum Ohre zu gelangen. Diese Erklärung, sagt De Lüc, würde allen Beifall verdienen, wenn das Rollen des Donners stets schwächer und schwächer würde; allein, da es oft zunähme, und manchmal stoſsweise mit schrecklichen Schlägen untermengt sey, so benehme dieses jener Hypothese alle Wahrscheinlichkeit. Ueberdieſs habe man nicht einmal bemerkt, daſs diese besondere Hypothese die allgemeine umstoſse. Denn, wenn sich die elektrische Flüssigkeit von Wolke zu Wolke ins Gleichgewicht setzen könnte, so lasse sich unmöglich einsehen, wie es positive und negative Wolken geben könne, die so vermengt seyn, und nur eine zusammenhängende Masse von Gewittern ausmachen sollten. Die Hypothese des vielfachen Echos von Wolke zu Wolke stimme gar nicht überein mit der wirklichen Succession, die man beim Geräusch des Donners beobachte, und habe noch auſserdem das Befremdende, daſs man bloſsen Nebeln, dergleichen die Wolken sind, die Fähigkeit zuschreibe, den Schall zu reflectiren. De Lüc vermuthet vielmehr, das Rollen des Donners rühre von der Ursache her, aus welcher sich in den Gewitterwolken das elektrische Fluidum erzeugt, doch werde es nicht von diesem Fluidum selbst hervorgebracht. Vielleicht bilde sich in dem Augenblicke, in welchem die elektrische Flüssigkeit aus den in der Wolke enthaltenen Ingredienzen zusammengesetzt werde, ein eben so groſser Ueberfluſs von sehr heiſsem *Wasserdunst*, der in verschiedenen Massen getheilt sey, und anfangs mehr Raum einnehme, als die Luft, aus der er hervorgebracht wurde. Vielleicht werden nachher diese Massen, so wie sie bei ihrer Abkühlung unter die Temperatur des Siedepunctes in dieser Höhe kommen, plötzlich durch den Druck der Luft zerstört, die das Wasser davon unter der Gestalt des Nebels zerstreuet. Diese Erklärung gründe sich auf die Verwandlung der dephlogistisirten und brennbaren Luft im Wasser, wo auch erst Expansion, und dann Zerstörung aller Ausdehnbarkeit statt finde, und noch auf mehrere andere Phänomene des Wasserdampfs. Sie würde auch die Verdichtung der Wolken und die nachherige Entstehung des Regens erklären, welche gewöhnlich auf starke Donnerschläge erfolgen. Nach dieser Erklä-

rung, welche mit den übrigen Theilen des de Lücschen Systems [1] genau zusammenhängt, entsteht also der *Knall* durch die explodirende Ausdehnung der Luft, indem sich die elektrische Materie, welche plötzlich in grofsem Ueberflusse gebildet worden ist, durch den Druck zersetzt, ihr Licht entläfst, und dadurch die Erscheinung des Blitzes hervorbringt; das *Rollen* hingegen ist die Folge einer stufenweise oder in verschiedenen einzelnen Massen erfolgten Verdichtung des aus der Luft entstandenen Wasserdampfes. In die leeren Räume, welche die Verdichtung veranlafst, dringt die Luft mit Gewalt ein, und bringt einen Schall hervor, in dem sich ein anhaltendes Rollen mit schwächern oder stärkern Schlägen verbindet, je nachdem die verdichteten Dunstmassen entweder gleichförmig in einem fortgehende Strecken, oder kleinere und gröfsere Haufen bilden. Das durch die Verdichtung entstandene Wasser fällt im Regen herab.

Girtanner [2] hat in einer etwas veränderten Gestalt eine andere Erklärung des Donners gegeben. Sein Geräusch, sagt derselbe, ist nicht der Lärm einer elektrischen Explosion, und sein Rollen nicht das Echo derselben. Die Wolken sind nicht im Stande, den Schall so zurückzuwerfen, wie feste Körper zu thun pflegen. Ein Kanonenschufs auf dem Meere, weit vom Ufer, wird nur einmal und ohne Rollen gehört (?); hingegen rollt der Donner auf dem Meere, wie auf dem Lande. Könnten die Wolken den Schall zurückwerfen und ein Echo verursachen, so müfste auch auf dem Meere ein Kanonenschufs vervielfältiget werden. Girtanner hält es daher für wahrscheinlich, dafs Blitz und Donner entstehen, so oft plötzlich eine grofse Wolke gebildet wird. Man hat Beobachtungen vom Donner bei ganz heiterem und unumwölkten Himmel. Oft fängt es im Sommer an zu donnern, und, der vorher heitere Himmel umzieht sich nun mit Wolken. So wie das Gewitter fortdauert, und die Donnerschläge auf einander folgen, entstehen mehr und mehr neue Wolken, welche vorher weder da waren, noch vom Winde hergebracht sind, und die Entstehung solcher Wolken so-

---

1 Vergl. *Blitz und Luft-Elektricität.*

2 Anfangsgründe der antiphlogistischen Chemie. Berl. 1792. 8. p. 284.

wohl als der Regen hört nicht eher auf, als bis der Donner aufgehört hat.

Demnach ist der Donner nicht eine Folge des Blitzes, sondern der Entstehung einer grofsen Wolke. Indem sich das Wassergas in der Atmosphäre durch plötzliche Erkältung in Wasser verwandelt, nimmt es einen 900mal kleineren Raum ein, als vorher; es entsteht ein Vacuum, die oberen Schichten und die Nebenschichten drängen sich zu, und indem sie aufeinander fallen, entsteht ein Geräusch. Eben das geschieht täglich im Kleinen, wenn z. B. beim schnellen Herausziehen des Deckels eines Etui, beim schnellen Schwingen einer Peitsche, deren Schmitze platt und löffelförmig ist, ein leerer Raum entsteht, in welchen die umgebende Luft eindringt, und einen eigenthümlichen Schall durch Zusammenstofsen hervorbringt. So zerplatzt die Blase mit einem Knalle unter der Glocke der Luftpumpe, und die äufsere Luft, wenn sie die über ein Glas gespannte Blase, unter welcher die Luft verdünnt worden ist, zerreifst, dringt eben so mit einem Knalle in den leeren Raum.

Damit stimmt nun auch im wesentlichen J. T. Mayer [1] überein, indem ihm zufolge die schnelle Verwandlung der in einer Gewitterwolke so sehr angehäuften Menge von Bläschen in concrete, als Regen herabfallende, Tröpfchen, ja vielleicht selbst die schnelle Entweichung oder Absorption (!) des mit den Bläschen verbunden gewesenen Wärmestoffs und der mit dem Blitze herabfahrenden Elektricität nothwendig eine beträchtliche Leere in der Gewitterwolke hervorbringen müsse, in welche sich sodann die umgebenden Luftschichten mit Gewalt hineinstürzen, wodurch nothwendig ein Knall entstehen müsse. Das *Rollen des Donners* erklärt derselbe daraus, dafs, wenn eine elektrische Wolke sich über einen Gegenstand entlade, das in andern benachbarten und gleichsam in einer Reihe hinter und über einander liegenden Wolken in + und — E durch Vertheilung von jener elektrischen Wolke aus zertrennt gewesene elektrische Fluidum in dem Augenblicke der Entladung jener Wolke, womit ihr vertheilender Einflufs aufhöre, in den natürlichen

---

[1] Lehrbuch über die physische Astronomie u. s. w. Gött. 1805. 8. p. 270.

Zustand zurückkehre, und bei der Schnelligkeit, womit dies geschieht, eine Art von Erschütterung in der Wolkenreihe und der mit Dunstbläschen vermischten Luft hervorgebracht werden müsse, wodurch ohne Zweifel eine Menge von Bläschen in diesen Wolken ebenfalls zersetzt werden. So sollen dann von neuem leere Räume entstehen, in welchen sich die umgebende Luft mit einem stärkeren oder schwächeren Knalle und Geräusch hereinstürzen müsse. Nach der verschiedenen Lage, Gröfse und Entfernung dieser Wolken vom Beobachter lasse sich dann leicht das im Ganzen immer schwächer werdende Rollen des Donners, aber auch die Untermischung desselben wieder mit stärkeren Schlägen begreiflich machen. Noch soll die von der schnellen Ausdehnung der Luft, welche in dem leeren Raume, der sich durch die Zersetzung der Bläschen der einen Wolke gebildet hat, hineinfährt, abhängige Kälteerzeugung zur Zersetzung der Bläschen in den benachbarten Wolken beitragen, und so könne sich dieser Procefs, womit dann jedesmal Blitz und Donner auf die oben angegebene Weise eintreten müsse, schnell durch eine Reihe von Wolken fortpflanzen.

Alle diese Erklärungen scheinen mir indefs sehr weit gesucht und zum Theil mit ausgemachten Thatsachen im Widerspruche. Es ist hinlänglich bekannt, dafs nicht blofs eine einzelne Gewitterwolke gebildet seyn kann, sondern um den ersten Wolkenverdichtungspunct die Gewitterwolken eine ansehnliche Ausdehnung erhalten haben können, ohne dafs noch ein Blitz erschienen, oder ein Donnerschlag gehört worden ist. Dies beweist unter andern auf eine auffallende Weise jene um den Tafelberg am Vorgebirge der guten Hoffnung bei vollkommen heiterem Wetter sich so ungeheuer schnellanhäufende Wolkenbedeckung des Himmels, nachdem ein erster kleiner Fleck sich gebildet hat, analog gleichsam der schnellen Krystallisation der übersättigten Lösung von schwefelsaurem Natron, wenn man ein Stäubchen von einem Krystall hineinwirft, ohne dafs darum Blitz und Donner damit gegeben sind. Die Bildung der Wolken an sich selbst kann also nicht die Ursache des Donners seyn, eben so wenig die schnelle Verdichtung derselben zu Regen, sonst müfsten mit jedem sogenannten Wolkenbruche Donnerschläge verbunden seyn, was gegen alle Erfahrung ist. Die Annahme De Lüc's einer aufserordentlichen Hitze in Folge der Zer-

setzung der Elektricität, wodurch erst ein grofser Ueberflufs von heifsem Wasserdampf gebildet werde, der nachher wieder durch die natürliche Kälte derselben Regionen, in welchen er sich gebildet, zersetzt werde, ist nicht blofs ganz willkührlich, sondern in jeder Hinsicht unhaltbar. Wenn, wie wir oft so deutlich sehen, eine Gewitterwolke sich senkt, einen Blitz auf den nächsten erhabenen Gegenstand hinabschleudert, und sich dann wieder erhebt, so findet hier die Zersetzung der Elektricität, wovon die Lichterscheinung abhängen soll, in dem Zwischenraume zwischen der Wolke und dem getroffenen Gegenstande statt, wo sich doch kein Wasser befindet, das durch die angeblich zugleich frei werdende Wärme in jenen heifsen Dunst verwandelt werden soll, der dann erst wieder durch seine darauf folgende Zersetzung nach jener Ansicht den Donner veranlafst. Ueberhaupt spricht keine Erfahrung für eine bedeutende Wärmeerzeugung beim schnellen Durchgange des elektrischen Fluidums unter der Gestalt eines Funkens durch Dunst oder gasförmige Flüssigkeiten, und auf jeden Fall würde diese Wärmeerzeugung nur auf den so schmalen Weg des Durchganges eingeschränkt seyn. Wenn Mayer dem schnellen Zusammenfahren der an beiden Enden einer Wolke durch Vertheilung angehäuften + und — E die Wirkung zuschreibt, die Dunstbläschen zu zersetzen und zu Wasser zu verdichten, so ist hierbei gerade eine entgegengesetzte Wirkungsart, wie in der vorigen Erklärung angenommen, für die aber jeder weitere Beweis fehlt. Dafs endlich alle drei Physiker sich zu leicht durch die Nebelnatur der Wolken haben verleiten lassen, ihnen alle Fähigkeit, den Schall zu reflectiren, und somit durch ein Echo zum Rollen des Donners wesentlich beizutragen, abzusprechen, beweist eine sehr merkwürdige Beobachtung bei Gelegenheit der neuesten Versuche, welche die französischen Physiker über die Geschwindigkeit des Schalles angestellt haben. Sie bemerkten nämlich, dafs wenn Wolken zwischen den Stationen, auf welchen die Kanonen zur Bestimmung jener Geschwindigkeit abgefeuert wurden, sich befanden, die Schüsse mit einem *Rollen*, wie vom Donner, gehört wurden, was hingegen *nicht* bemerkt wurde, wenn der Himmel klar war, zum offenbaren Beweise, dafs das Echo, von welchem dieses Rollen allein ab-

hängen konnte, nicht von den Gegenständen auf der Erde, sondern von den *Wolken* selbst ausging [1].

Wir wenden uns nun zu der zweiten Hauptclasse von Erklärungen, welche den Donner und insbesondere das Rollen desselben als eine unmittelbare Folge und Wirkung des Blitzes selbst, oder als ein rein elektrisches Phänomen auf eine genauere Weise, als es früher geschehen, aus den anerkannten Gesetzen der Bewegung der elektrischen Materie und den Verhältnissen des Schalles begreiflich zu machen versucht haben. Brandes [2] Helvig [3] und Rasching [4] sind es vorzüglich, die sich umständlicher darüber ausgesprochen haben. Brandes leitet das Rollen des Donners vorzüglich von den aufwärts oder seitwärts in die Wolken fahrenden Blitzen ab, während der in die Erde einschlagende Blitz mit einem kurzen Donner, einem Kanonenschusse gleich, oder auch mit einem knatternden Donner verbunden sey. Das Rollen des Donners deute offenbar auf wiederholte Explosionen hin. Liege nun bei einem herabwärts schlagenden Blitze der Ort jeder Explosion dem Beobachter näher, so gelange der durch die ersten Explosionen bewirkte Schall, welcher langsamer als der erregte Blitz fortgeht, gleichzeitig mit dem durch die letzten Explosionen bewirkten Schalle (ja vielleicht etwas später als dieser) zum Ohr, und der Schall sey kurz und ohne einen Nachhall oder Rollen; gehe dagegen der Blitz aufwärts (oder auch in horizontaler Richtung von Wolke zu Wolke) so gelangen die später und zugleich in gröſserer Entfernung entstandenen Donnerknalle, vorzüglich wegen ihrer immer gröſseren Entfernung, später zu unserm Ohre, und ein Blitz, dessen ganze Wirkung nur eine Secunde dauerte, aber vielleicht sich durch 6000 Fuſs in einer ziemlich geraden von uns abwärts gerichteten Linie fort erstrecke, müſste einen sieben Secunden lange dauernden Donner geben. Gesetzt aus 2000 Fuſs Höhe schlüge ein Blitz gerade neben uns nieder und brauchte dazu $\frac{1}{2}$ Secunde (was indessen noch zu hoch angeschlagen ist) so würde ich den ersten Knall später als den, welchen er auf

---

1 Ann. Ch. et. Ph. XX. 210 — 266.
2 Beiträge zur Witterungskunde u. s. w. Leipz. 1820. 8. p. 350.
3 G. LI. 117.
4 Ebend. XXIII. 226.

dem letzten Theile seines Weges bewirkt, hören, jenen 2 Secunden, diesen ½ Secunde nach dem Ausfahren des Blitzes aus der Wolke. Der Donner müfste also in einem ganz kurzen Zeitraume als einzelner Knall, oder als schnell auf einander folgendes Knattern vorbei seyn. Hier und in manchen andern Fällen könnte der Anfang des Donners (so wie wir ihn hören) einer spätern Explosion angehören, und der durch die erste heftigste Explosion bewirkte Knall erst später, ganz am Ende des Donners, zu uns gelangen. Da beim Einschlagen des Blitzes in unserer unmittelbaren Nähe die Entfernung der Gewitterwolke wohl häufig nicht einmal 1000 Fufs beträgt, so ergiebt sich damit noch eine kürzere Dauer, und für unsere Art zu empfinden, da jeder Eindruck eine kurze Zeit anhält, ein ganz einfacher Donnerschlag.

Eine im wesentlichen ganz ähnliche Ansicht über das Rollen des Donners, stellt auch Raschig auf. Ihm zufolge [1] soll nämlich dasselbe 1. von der verschiedenen, meist sehr beträchtlichen Länge des Blitzstrahls 2. von der verschiedenen Stärke des Strahls in verschiedenen Stellen seiner Bahn, vielleicht auch 3. von der Verschiedenheit der Körper, welche derselbe in seinem Laufe trifft, herrühren. In Rücksicht auf den Einflufs der Länge bemerkt dieser Physiker, dafs man am Horizonte oft Blitze in der Länge von einer Stunde Weges durch die Wolken fortlaufen sehe, man sieht sie (scheinbar) von der Erde bis in die höchsten Wolken sich verlieren, und sich in mehrere Aeste zertheilen. Von allen diesen verschiedenen Puncten kann der Schall nothwendig nur nach und nach zum Ohre gelangen, je nachdem sie weiter oder höher liegen. Der Blitz zeigt auch nicht in allen Theilen seiner Bahn gleiche Stärke, besonders wenn er sich in mehrere Aeste theilt. Sind nun dünnere, vertheilte Aeste näher als der vereinte Strahl, so wird der schwächere Donner zuerst gehört, und der stärkere Schlag später nachkommen. Endlich meint Raschig, dafs es nicht einerlei ist, ob der Blitz in seinem Laufe dichtere Regentropfen, oder dünnere Wolken oder von beiden freie Luft treffe. Das Wasser werde von einem starken elektrischen Schlage wahrscheinlich

1 G. XXIII. 226.

in Dampf oder Gasarten verwandelt, und dies könnte wohl bei der Schnelligkeit, womit es geschieht, den Knall des Blitzes verstärken.

Helvig hat in seiner Erklärung vorzüglich auf die Zickzakform des Blitzes, die er wesentlich für seine Bahn hält, Rücksicht genommen. Bei näherer Aufmerksamkeit auf ein Gewitter sah er den Blitz mit vier Absprüngen seine Bahn nach der Erde durchlaufen, und hörte ganz bestimmt eben so viele gedehnte rollende Donnerschläge, doch nicht alle mit gleicher Schallstärke. Um seine Ansicht näher zu begründen, geht er von dem Schalle des Wurfgeschützes aus. Die dauernde Länge eines Schalles steht, ihm zufolge, im Verhältnisse der Länge des durch die freie Luft hindurch fahrenden Feuerstrahls zu seinem Durchmesser. Wenn man z. B. eine Bombe mit zwei Pfund Pulver zersprenge, so breite sich der Schall sogleich kugelförmig aus, und werde kurz und begränzt gehört. Wenn dagegen zwei Pfund Pulver in eine Kanone, welche 15 bis 20 Durchmesser des inneren Raumes der Bombe zur Länge habe, geladen würden, so werde man einen beträchtlichen Unterschied der Dauer des Schalls bemerken. Beim so äuſserst schnellen Durchfahren des Blitzes durch die Luft müsse nothwendig ein vollkommen luftleerer Raum entstehen, und das Einströmen der benachbarten Luft in diese Leere müsse mit einem Knalle verbunden seyn. Um nun diese Leere auszufüllen, werde wegen der sehr viel geringeren Geschwindigkeit des einströmenden Mittels eine Zeit erfordert, mehr oder weniger, je nachdem dieser auszufüllende Raum eine gröſsere oder geringere Länge besitze, oder je öfter derselbe erneuert werde. Der Eintritt der Luft in den leeren Raum gebe nun den Schall als Product. Dieser pflanze sich vom Anfange bis zum Ende mit gleicher Geschwindigkeit fort, so daſs man, wenn die Länge des zu durchlaufenden schallgebenden Gegenstandes bedeutend sey, die Zeit messen könne, welche zwischen dem Anfange und der letzten Schallwelle, die gehört werden könne, vergehe. Dächten wir uns einen herausfahrenden Feuerstrahl bei einem Vierundzwanzig-Pfünder auſserhalb der Mündung, welcher eine Länge von 488 Fuſs besitze, so werden beinahe 36 Tertien Zeit verlaufen, ehe der Schall verschwinde, folgten nun mehrere solche Strahlen ununterbrochen auf einander, so würde jeder einen eben so lang gedehnten Schall

ken, und die Summe aller ein stetes Rollen von einigen Secun-
n hervorbringen, ohne dafs man das Echo zu Hülfe zu neh-
n nöthig hätte. Wären einige von diesen Kanonen nach dem
obachter hin, andere von ihm ab, und noch andere seitwärts
ichtet, so würde er alle beim Donner beobachtete Modifica-
nen während der Zeit hören, nur würde er in einer gewissen
fernung, und nicht zu nahe stehen müssen. Die Absprünge
Blitzes in der Zickzakform[1] haben nämlich für den Beob-
ter dieselben Folgen, wie das Abschiefsen der Kanonen in
schiedenen Richtungen, indem der Blitz gleichfalls in seiner
zackförmigen Bahn bald nach dem Zuschauer hin, bald von
abwärts, bald seitwärts von ihm sich bewegen mufs.

In der zweiten Classe von Erklärungen finden sich nun, unse-
Bedünkens, wenn noch auf Einiges, was in denselben nicht
chtet worden, Rücksicht genommen wird, alle Elemente,
sich einen deutlichen und naturgemäfsen Begriff von den
heinungen des Donners zu machen. Dafs die elektrische
rie in ihrer schnellen Bewegung durch die Luft diese wirk-
vor sich her treibt, und bei der aufserordentlichen Schnel-
keit ihrer Bewegung einen relativ leeren Raum hinter sich
ückläfst, ist keinem Zweifel unterworfen. Es ist hier von
ner blofsen Leitung oder Fortpflanzung einer Thätigkeit, son-
n von der Fortbewegung eines materiell Realen die Rede,
sein Daseyn für mehr als einen Sinn, und seine aufseror-
liche Geschwindigkeit neben andern Erscheinungen vorzüg-
durch die grofse mechanische Gewalt, die es bei so gerin-
Masse ausübt, über jeden Zweifel hinaus beurkundet. Jedes
liche Zusammenpressen der Luft sowohl, als ein schnelles
römen umgebender Luft in einen leeren Raum, ist mit ei-
mehr oder weniger starken Schalle verbunden. Dafs die-
Schall von der ganzen Länge der Bahn des Blitzes, auf wel-
sowohl die Luft aus der Stelle bewegt und zusammenge-
ist, als auch ein leerer Raum zurückgelassen worden ist,
nach uns verbreiten müsse, und daher seine Dauer, im
ältnisse der Länge dieser Bahn, verglichen mit der Fort-
zungsgeschwindigkeit des Schalls, die wir nach den neue-

---

[1] S. *Blitz.*

sten Versuchen bei 10° C. und 28″ Par. Luftdruck auf 1038 Par. Fuſs annehmen können, stehen müsse, ist eben so klar, woraus denn nach der obigen Erörterung sich von selbst ergiebt, daſs das eigentliche Rollen des Donners (der lange gedehnte Donner) am meisten bei Blitzen, die aufwärts, oder von Wolke zu Wolke fahren, eintreten müsse.

Brandes bemerkt in dieser Hinsicht noch: „Wenn man „Gelegenheit hätte, die scheinbare Richtung der Blitze mit der „Dauer des Donners zu vergleichen, wenn man zugleich beob„achten könnte, ob bei den Blitzen, welchen ein rollender „Donner folgt, sich etwas, das wiederholten Explosionen ähn„lich sähe, bemerken lieſse, so könnte man wohl etwas Ent„scheidendes über diese Meinung ausmachen. Im Ganzen habe „ich wenigstens das Rollen des Donners nur dann vorzüglich „beobachtet, wenn die Blitze mehr in der obern Gegend der At„mosphäre blieben, und in den fünf Fällen des wirklichen Ein„schlagens des Blitzes in der Nähe blieb das eigentliche Rollen „aus.“ Daſs ein von einer übermäſsig geladenen Wolke nach einer benachbarten überschlagender und sich von Wolke zu Wolke als gleichsam unterbrochener Funke verbreitender Blitz an verschiedenen Stellen verschiedenen Widerstand schon wegen der verschiedenen Entfernung der Wolken von einander zu überwinden hat, und daſs schon darum der Schall im Fortgange des Rollens bald stärker bald schwächer werden muſs, ist ganz übereinstimmend mit dem, was wir beim elektrischen Schlage bemerken, wenn er auf seinem Wege Hindernisse von verschiedener Stärke antrifft. Allen Einfluſs auf die in Zwischenräumen eintretende Verstärkung des Rollens kann man ferner der Zickzakbewegung des Blitzes nicht absprechen, da an der Stelle des Absprungs die Luft am stärksten zusammengedrückt ist, und also mit der gröſsten Geswindigkeit in den nachgelassenen leeren Raum einströmen muſs. Uebrigens erhellet aus der schon oben mitgetheilten Beobachtung, daſs auch in ganz ebenen Gegenden auf dem Meere da, wo irdische Gegenstände kein Echo veranlassen können, die Wolken selbst durch das Reflectiren des Schalls zum Rollen des Donners wesentlich beitragen können, und das um so mehr, je dichter sie sind, namentlich also Wolken, die sich dann in reichlichem Regen und Hagel ergieſsen, wo das Rollen des Donners oft am furchtbarsten ist.

Nach der angegebenen Theorie begreift man, wie man aus der Zeit, welche zwischen dem sichtbaren Ausbruche des Blizzes und dem gehörten Donner verstreicht, einigermafsen au die Entfernung einen Schlufs machen könne. Rechnet man, wie oben bemerkt ist, die Geschwindigkeit des Schalls auf 1038 Par Fufs in einer Secunde, so kann man die Entfernung des Gewitters auf etwa eine geographische Meile rechnen, wenn zwischen dem Blitze und Donner 22 bis 23 Secunden verstreichen.

Dafs wahre Blitze ohne Donner vorkommen können, kann nach dem bisher Angeführten nicht wohl zugegeben werden. Es ist aus Frankfurt eine dergleichen Beobachtung bekannt gemacht worden [1]. De Lüc hat eine ähnliche Beobachtung seines Bruders mitgetheilt [2]. Indessen sind. offenbar die sogenannten Blitze, welche er ohne allen begleitenden Donner aus Gewitterwolken, die sich über dem Jura gesammelt, ausfahren sah, nach seiner eigenen Beschreibung keine wahren Blitze, sondern vielmehr elektrische Ausströmungen nach Art von Feuer-Pinseln gewesen, da er ausdrücklich sagt, dafs sie nach allen Seiten unterwärts gerichtete Luftströme gewesen seyen, die zum Theil sehr divergirende Garben (gleich wahren Feuer-Pinseln) vorgestellt hätten. Bald aber liefsen sich wirkliche Blitze mit erst schwachem Donner hören, und dann folgte ein Blitz mit furchtbarem Donnerschlage. Die Beweisführung, welche de Lüc für seine oben vorgetragene Theorie des Donners darauf stützt, scheint uns daher durch diese Beobachtung nicht begründet zu seyn.

Eine ähnliche Beobachtung, welche Brandes mittheilt, ist eben so wenig entscheidend. Er machte dieselbe in Breslau im Jahre 1803 an einer gar nicht grofsen Wolke, die etwa 6 — 10 Grade hoch stehen mochte. Sie blitzte fast unaufhörlich, ohne dafs Brandes einen Donner hörte, und schien ihm nicht so überaus entfernt zu seyn, dafs deshalb der Donner an dem ganz stillen Abend ihm hätte entgehen können; doch setzt er selbst

1 Geschichte der aufserordentlichen Naturbegebenheit, da am 13. August 1785 durch einen zwiefachen Blitz ohne darauf erfolgten Donner die Reichsstadt Frankfurt an zweien verschiedenen Orten angezündet wurde. Von J. G. S. Frankfurt 1785. 8.

2 J. d. P. 1791. S. 262.

te heraus auf eine beträchtliche Weite geschleudert. Nun stellt der Knopf bei diesem Versuche eine Gewitterwolke vor, aus welcher, wenn sie dem höchsten Orte des Gebäudes nahe genug kommt, die Elektricität in dasselbe schlägt, und da es nicht gehörig durch ununterbrochene Leitung beschützt ist, durch diesen Schlag das Holz I M abwirft, d. h. einen Theil des Gebäudes zerschmettert. Hat man auch nur eine ganz unbedeutende Menge Knallsilber in ein Papierchen gewickelt, hinten angeklebt, so ist dieser Effect desto stärker, zum Knall der Flasche gesellt sich noch die sehr heftige Explosion von höchstens ⅛ Gran Knallsilber, und das viereckige Holz wird nicht bloſs fortgeschleudert, sondern auch noch in mehrere Stücke zerschmettert. Der Erfolg dieses Versuchs ist sicherer, wenn die Leitungsdrähte an der innern Seite des Bretts hinabgehen, und der Draht an dem viereckigen Stücke Holz gleichfalls nach innen liegt, damit die Explosion beim Ueberschlage bestimmter von Innen nach Auſsen wirke.

Man wiederhole nun den Versuch mit dieser einzigen Veränderung, daſs man dem Holze I M die andere Lage giebt, in welcher der Draht L K in die Richtung I M kommt, wobei die Leitung H O nicht unterbrochen ist; so wird der Schlag nicht die geringste Wirkung auf das Holz L M thun, sondern es wird dasselbe in dem Einschnitte unbewegt bleiben, wodurch sich der Nutzen metallischer Ableitungen von gehöriger Continuität überhaupt an den Tag legt.

Endlich schraube man von dem Drahte H I die messingene Kugel H ab, so daſs die Spitze des Drahtes bloſs bleibt, und wiederhole nach dieser Veränderung beide eben angeführten Versuche, so wird das Holz I M beidemal unbewegt bleiben, auch wird man gar keinen Schlag bemerken, sondern es wird die Flasche stillschweigend entladen werden. Daſs indessen dieser letztere Erfolg eines nach einem so kleinen Maſsstabe angestellten Versuchs den Vorzug der zugespitzten vor den stumpf geendeten Ableitern nicht entscheide, darüber ist schon ausführlich unter dem Artikel „*Blitzableiter*“ die Rede gewesen.

Um diese Versuche noch unterhaltender und den Erscheinungen der Gewitter selbst noch analoger zu machen, kann man auch die Vorrichtung der elektrischen Wolke nach Kirch-

HOFFS Angabe [1] zu Hülfe nehmen. Wenn diese an dem einen Ende eines hinlänglich, etwa 4—5 Fuſs langen Hebels, der mit zwei Schneiden auf einen gut isolirenden Stative beweglich ruht, durch Drähte aufgehängt, und durch ein Gegengewicht am andern Ende ins Gleichgewicht gebracht ist, und durch einen Draht von der innern Belegung einer Leidner Flasche eine Zuleitung zu derselben gemacht wird, die so angebracht ist, daſs der Draht an einem Haken oben im Stative eingehängt werden kann, von wo durch einen Stanniolstreifen, auf welchem die Schneide des Hebels ruhet, die weitere Leitung bis an das Ende des Hebels geht, an welchem die Wolke hängt; so wird, wie die Ladung der Flasche zunimmt, die Wolke allmählig von dem Knopfe des unterhalb derselben befindlichen Donnerhauses aus einer ansehnlichen Ferne angezogen werden, und in der Schlagweite sich auf denselben entladen.

Obige sehr einfache Einrichtung eines Donnerhauses ist von CAVALLO beschrieben. Wir fügen noch eine andere von SIGAUD DE LA FOND angegebene bei. Die vier Wände eines kleinen hölzernen Hauses sind mit dem Fuſsboden durch leicht bewegliche Charniere verbunden. Sie werden lothrecht aufgerichtet, und in dieser Lage durch das aufgesetzte Dach erhalten, welches zu dem Ende einen Falz hat, in welchen die obern Ränder der Wände einpassen. Aus dem Dache geht durch einen Schornstein ein Metalldraht hervor, der sich oben in eine metallene Kugel endigt, und inwendig unter dem Dache auf einem Kupferbleche aufliegt, welches mit einer Patrone voll Schieſspulver in Verbindung steht. Diese Patrone liegt auf zwei Säulen, deren eine von Metall ist, bis unter den Fuſsboden des Hauses hinabreicht, und durch eine Kette mit der äuſsern Belegung einer Verstärkungsflasche verbunden ist. Wird nun die Flasche geladen, und ein mit ihrer innern Seite verbundener Knopf, etwa so wie bei CAVALLO's Donnerhause, oder auch die elektrische Wolke, der auf dem Schornsteine hervorragenden Kugel genähert, so erfolgt die Entladung, der Schlag dringt in das Innere des Hauses, entzündet das Pulver, und erregt dadurch eine Explosion, welche das Dach abhebt,

---

1 S. *Blitz*.

und die Wände aus einander wirft; eben so wie der Blitz in einem gewöhnlichen Gebäude Zerstörungen anrichtet, wenn er keine ununterbrochene metallische Leitung findet, sondern auf seinem Wege durch entzündbare, ihm widerstehende, Mittel brechen muſs. Will man nun das Haus gegen diese zerstörende Wirkung schützen, so setze man es aufs Neue zusammen, bringe wieder eine Patrone an den vorigen Ort, hänge aber jetzt eine Kette, oder noch besser einen Draht an das aus dem Schornsteine hervorgehende Metall, und verbinde diesen mit der äuſsern Belegung der Flasche. Wird dann der Versuch wiederholt, so trifft zwar der Schlag, wie vorhin, die auf dem Schornstein stehende Kugel, aber er wird jetzt durch den von auſsen angehangenen Draht, auf einem kürzeren und leichteren Wege zu seinem Ziele, nämlich zur äuſsern Seite der Flasche geführt, ohne das Innere des Hauses zu treffen, und zu beschädigen — eine Darstellung im Kleinen von dem, was vollkommene Ableitungen auſsen an Gebäuden leisten, um den Blitz unschädlich abzuführen, der ohne sie durch anlockende Gegenstände sonst zum Verderben nach Innen geleitet wird. Statt der Patrone mit Schieſspulver, zu dessen Entzündung schon ein stärkerer Schlag erforderlich ist, und das auch öfters nur aus einander geworfen wird, kann man sich auch einer Donner-Büchse bedienen, die auf dem Boden des Hauses sich befindet, und die mit ihren beiden, in sie eingekitteten Drähten einerseits mit der Zuleitung vom Schornsteine, andererseits durch eine Kette mit der äuſseren Belegung der Flasche so verbunden ist, daſs der elektrische Schlag gezwungen wird, durch sie hindurch zu gehen. Die Knallluft entzündet sich auch durch den schwächsten elektrischen Schlag, wirft den Stöpsel mit Gewalt und so das Dach in die Höhe, und wenn die innern Wandungen mit Heede, die mit Harzpulver eingerieben ist, belegt sind, so bricht die Flamme aus.

Daſs sich noch mancherlei Abänderungen bei diesem eigentlich nur zu den *elektrischen Spielwerken* gehörigen Apparate anbringen lassen, kann keinem Liebhaber elektrischer Versuche unbekannt seyn. So hat unter andern Cuthbertson eine in einigen Stücken abgeänderte Vorrichtung dieser Art be-

schrieben [1], und andere Kleinigkeiten mehr, welche ich hier billig übergehe. *P.*

Doppelbarometer. S. Barometer.

Drache, elektrischer.

Draco volans papyraceus, observationibus electricis inserviens; Cerf volant électrique; *Electrical Kite.* Das bekannte Spielwerk der Knaben, welche einen aus Holz und Reifen oder Stäben und Papier zubereiteten Drachen an einer Schnur halten, und vom Winde in die Höhe treiben lassen, ist nach De Romas und Franklin von mehreren Naturforschern als ein Mittel gebraucht worden, einen leichten Leiter hoch in die Atmosphäre zu erheben und die Elektricität der Luft oder der Wolken dadurch herabzubringen, und führt daher, wenn es zu dieser Absicht eingerichtet ist, den Namen des elektrischen Drachen.

Das Spielwerk des fliegenden Drachen wird schon von Daniel Schwenter [2] beschrieben, der auch einen körperlichen Drachen verfertigen lehrt, und sich dabei auf einen noch älteren Schriftsteller Jacob Wecker [3] beruft. Wie der Wind einen solchen Drachen hebe, erklärt Musschenbroek [4]. Es sey an den Stab AB die schlaffe Schnur DEC angebunden. Wenn nun an irgend einem Punct derselben E noch die Schnur EM befestigt, und bei M mit der Hand gehalten wird, die Fläche des Drachens aber mit der horizontalen Richtung des Windes OP einen schiefen Winkel OPH macht, so läfst sich der Stofs des Windes OP gegen den Schwerpunct O in die beiden Theile OH und HP zerlegen. Wird dann angenommen, dafs der Drache durch die Schnur EM festgehalten werde, so findet der Theil der Kraft HO einen unüberwindlichen Widerstand, der Drache

Fig. 178.

1 Cavallo vollständige Abhandlung der Lehre von der Electricität a. d. Engl. 4te Ausgabe 1797. I. Bd. S. 209. Sigaud de la Fond Dictionnaire de Physique. Article: Maison de Tonnèrre. Joh. Cuthbertsons Abhandlung von der Electricität. Leipzig 1786. S. 20. 21.

2 Mathematische Erquickstunden. Nürnberg 1651. 4. Th. I. S. 472.

3 In Secretis fol. 187.

4 Introd. ad philos. nat. §. 573.

wird also nur der Kraft PH folgen können, und mufs also aufsteigen, aber nicht mit der ganzen Kraft des Windes, sondern nur mit demjenigen Theile, welcher sich zu derselben wie PH: PO verhält. Das Aufsteigen wird demnach nur dadurch möglich, dafs man die Fläche des Drachen der Richtung des Windes nicht gerade entgegengekehrt, sondern, wie den Flügel einer Windmühle, schief gegen denselben richtet, wobei die Wirkung des Windes am stärksten ist, wenn die auf die Fläche des Drachen normal gezogenen Linien mit der Richtung des Windes einen Winkel von 54° 34′ machen. Die Schnur wird im Anfange stark angezogen, und man läuft damit dem Winde entgegen, um seinen Stofs gegen die Fläche noch mehr zu verstärken. So lassen sich dergleichen Drachen an einer langen Schnur vom Winde auf beträchtliche Höhen treiben.

Die Ehre der ersten Idee, den fliegenden Drachen zur Untersuchung der Elektricität der Atmosphäre und der Wolken zu gebrauchen, gebührt gleichmäfsig dem De Romas, Beisitzer des Landgerichts zu Nerac und Benjamin Franklin. In einem Briefe, welchen Ersterer den 12. Juli 1752 an die Akademie der Wissenschaften zu Bourdeaux schrieb, sagt er nicht blofs, dafs es ihm am 9ten desselben Monats geglückt sey, elektrische Materien aus einer eisernen Stange zu ziehen, sondern er zeigt auch daselbst einen elektrischen Drachen an. Um dieselbe Zeit, ganz unabhängig von De Romas, und ohne etwas von den Versuchen desselben wissen zu können, nämlich im Junius 1752 kam Benj. Franklin in Philadelphia auf den Gedanken, und führte ihn mit dem glücklichsten Erfolge aus. Er breitete zu dem Ende ein grofses seidenes Schnupftuch über zwei kreuzweis gelegte Stäbchen aus, und liefs dasselbe bei Gelegenheit des ersten aufsteigenden Gewitters an einer hanfenen Schnur in die Höhe, an deren unterstes Ende er einen Schlüssel gebunden hatte. Schon war eine vielversprechende Wolke ohne die mindeste Wirkung vorübergezogen, als er einige lockere Fäden der hanfenen Schnur gerade in die Höhe stehen, und von der Schnur, wie von einander selbst fliehen sah. Er brachte sogleich den Knöchel seines Fingers an den Schlüssel, und erhielt dadurch zu seinem lebhaften Vergnügen einen deutlichen elektrischen Funken. Es folgten darauf noch mehrere, und nachdem die Schnur nafs geworden und also ein besserer Leiter war,

sammelte sich die Elektricität in dem Schlüssel sehr häufig. DE ROMAS trieb diese Versuche im Jahre 1753 noch weiter, und gab dem elektrischen Drachen zugleich eine weit bequemere und zweckmäßigere Einrichtung. Er bediente sich einer mit Kupferdrahte nach Art der Violinsaiten umflochtenen hanfenen Schnur an einem papiernen Drachen, welche 7½ Fuſs Höhe, 3 Fuſs Breite und 18 Quadratfuſs Fläche hatte, und dessen Papier geölt war. Die hänfene Schnur war unten an eine trockene seidene Schnur befestiget, die unter einem Wetterdache von dem Regen beschützt, und an ein mit einem Steine beschwertes Pendulum gebunden war. Dadurch war die hanfene Schnur isolirt und die Elektricität wurde mehr angehäuft, das Pendulum aber konnte der Stärke des Windes nach Erfordern nachgeben. Endlich hing er an das Ende der hänfenen Schnur eine blecherne Röhre, welche als Conductor diente, um die Funken daraus zu ziehen.

Mit dieser Geräthschaft gelang es DE ROMAS, aus den Wolken eine stärkere Menge Elektricität herabzubringen, als jemals sowohl vor als nach ihm durch irgend eine Veranstaltung erhalten worden ist. Als der Drache an einer 780 Fuſs langen Schnur, welche mit dem Horizonte einen Winkel von beinahe 45° machte, 550 Fuſs hoch gestiegen war, zog er am 7ten Jun. 1753 Nachmittags um halb 3 Uhr (nachdem um 1 Uhr zu einer Zeit, da es von Osten her donnerte, die Versuche angefangen worden waren) aus seinem Conductor durch einen an einer isolirenden Handhabe gehaltenen Funkenzieher, von welchem eine Kette auf den Erdboden herabhing, Funken, deren Schall man 200 Schritte weit hörte. Er fühlte auf seinem Gesichte die bekannte Empfindung der Elektricität, als ob Spinneweben über dasselbe gezogen würden, ob er gleich drei Fuſs weit von der Schnur entfernt stand. Gegen den Conductor, der ohngefähr drei Fuſs hoch über der Erde hing, erhoben sich vom Boden auf drei Strohhalme, wovon der längste einen Fuſs hoch war, standen aufrecht, und tanzten, wie Puppen, im Kreise herum, ohne einander zu berühren. Nachdem dieses Schauspiel etwa eine Viertelstunde gedauert hatte, fing es an zu regnen, die zunehmende Empfindung von Spinneweben und ein anhaltendes Prasseln kündigte Verstärkung der Elektricität an. Endlich ward der längste Strohhalm von dem blechernen Rohre angezo-

gen, worauf drei Explosionen erfolgten, deren Laut von einigen mit dem Platzen einer Rakete, von andern mit dem Zerschlagen irdener Krüge gegen einen gepflasterten Boden verglichen wurde. Man hörte diesen Laut bis mitten in die Stadt (die Versuche wurden in der Vorstadt angestellt) und der dabei erscheinende Feuerstrahl war 8 Zoll lang und 5 Linien dick. Der Strohhalm, der die Explosion veranlafst hatte, ward an der Schnur des Drachen hin auf 45 — 50 Toisen weit abwechselnd angezogen und zurückgestofsen; bei jedem Anziehen erschien ein Feuerstrahl mit einem Knalle. Man spürte einen Phosphorusgeruch, und rings um die Schnur zeigte sich, obgleich bei hellem Tage, ein Lichtcylinder von 3 — 4 Zoll Durchmesser. In der Erde entdeckte man, gerade unter dem Conductor, ein Loch von 1 Zoll Tiefe und 1 Zoll Weite, welches durch die Explosionen war verursacht worden. Endlich warfen Hagel und Regen den Drachen herab. Im Niederfallen verwickelte sich die Schnur in einem Dache, und die Person, die sie losmachte, empfand in den Händen und durch den ganzen Körper eine so heftige Erschütterung, dafs sie genöthigt ward, die Schnur sofort fahren zu lassen, welche auch noch einigen Personen, auf deren Füfse sie fiel, einen erschütternden Schlag gab. Diese heftigen Wirkungen der Elektricität veranlafsten De Romas, zu mehrerer Sicherheit bei ähnlichen Versuchen, einen eigenen Auslader zu erfinden.

Bei einem andern Versuche am 16ten Aug. 1757 waren die Feuerstrahlen, welche aus der Schnur des Drachen gegen einen nahe dabei aufgestellten Leiter fuhren, 10 Fufs lang und 1 Zoll dick, und ihr Knall glich einem Pistolenschusse. De Romas erzählt in einem Briefe an Nollet [1] dafs er in weniger als einer Stunde Zeit auf dreifsig Feuerstrahlen von dieser Gröfse erhalten habe, viele hundert kleinere von 7 Fufs Länge und darunter ungerechnet, welche allezeit von der Schnur auf den nächsten dabei stehenden Leiter trafen.

Bei Gelegenheit seiner Versuche im Jahre 1750 fand De Romas bereits, dafs ein wie oben zugerichteter elektrischer Drache auch bei sehr heiterer Witterung, wo sich kein Anschein zu ei

1 Mém. presentés IV. 514.

nem Gewitter zeigte, dergestalt elektrisch werden könne, dafs sein Faden Funken giebt, welche in denjenigen, die sie mit den Fingern ausziehen, starke Erschütterungen hervorbringen. Je höher der Drache durch den Wind getrieben wurde, um so stärker war diese Elektricität. Bisweilen zeigten sich einzelne kleine weifse Wolken, welche, indem sie sich dem Drachen näherten, die Elektricität zu schwächen schienen [1].

Beccaria in Turin hat sich bei seinen zahlreichen Versuchen über die Elektricität der Wolken ebenfalls des elektrischen Drachen bedient. Er wand die Schnur desselben auf einen Haspel, der auf gläsernen Pfeilern ruhte, und verband den Conductor mit der Axe des Haspels. De Romas hat nachher einen eigenen elektrischen Wagen angegeben, den man von einem Orte zum andern führen, und die isolirte Schnur des Drachen darauf sicher aufwinden und nachlassen kann, ohne sie zu berühren. Brisson [2] beschreibt diese Maschine sehr umständlich; sie ist aber allzusehr zusammengesetzt, um in dem elektrischen Apparat allgemein aufgenommen zu werden. Auch Musschenbroek stellte dergleichen Versuche wiederholt im Jahre 1756 und 1757 an, und erhielt gleichfalls bei vollkommen heiterem Wetter und sehr trockener Luft aus einem Schlüssel an der Schnur des Drachen, der 700 Fufs hoch in die Luft gestiegen war, sehr merkliche Funken, welche, wenn mit der andern Hand ein Baum angefafst wurde, mit einer sehr heftigen Erschütterung verbunden waren [3]. Aehnliche Versuche sind seitdem oft wiederholt worden.

Cavallo giebt folgende einfache Vorrichtung zur Prüfung der atmosphärischen Elektricität vermittelst des elektrischen Drachens an. Man gebraucht dazu am besten gewöhnliche papierene Drachen, vier Schuh lang und wenig über zwei Schuh breit, die man mit Firnifs überzieht, oder in gesottenem Leinöl tränkt, damit sie der Regen nicht durchnässe und zerreifse. Die seidnen und leinenen erfordern starken Wind, und sind ohne Nutzen theurer und schwerer zu verfertigen, als die papiernen. Gröfsere Drachen, als die angebenen sind schwer zu behandeln,

1 Mém. des Savans étrangers Tome 2. 1755.
2 Dict. raisonné de Phys. Art. Charriot électrique.
3 Introd. Tom. I. p. 295.

und diese sind schon stark genug, um eine hinreichende Länge von Schnur in der Höhe zu erhalten.

Der wesentlichste Theil der Zubereitung ist die Schnur, die ein sehr guter Leiter seyn muſs. Cavallo fand, nach verschiedenen miſslungenen Proben, daſs man die beste Schnur erhalte, wenn man einen unächten Goldfaden (d. i. einen seidenen oder leinenen Faden, mit einem dünnen Kupferblättchen überzogen, wie sie zu unächten Stickereien gebraucht werden), mit einem sehr dünnen Bindfaden zusammendrehet. Aechte Gold- oder Silberfäden würden bessere Dienste thun, wenn sie nicht wegen der nöthigen Länge der Schnur zu kostbar wären. Die Versuche, den Bindfaden selbst durch Ueberziehen mit Lampenruſs, Kohlenstaub u. dgl. zu einem guten Leiter zu machen, schlugen fehl, weil sich diese Materien leicht abrieben. Einweichung des Bindfadens in Salzwasser that zwar ganz gute Dienste, war aber unbequem; weil sie beim Gebrauche selbst die Hände salzig machte. Zwei Bindfaden mit einem Messingdrahte zusammengedreht, hielten nicht gut, weil der Draht sich an mehreren Stellen drehte und von einander brach.

Die isolirten Knäuel, elecktrischen Wagen und andere ähnliche Vorrichtungen, um sich während des Steigens des Drachens gegen die Gefahr des Schlags zu schützen, hält Cavallo für überflüssig. Er meint, auſser der Zeit eines Gewitters habe es mit den Schlägen aus der Schnur keine Gefahr; bei einem Gewitter aber sey es, selbst beim Gebrauche der möglichsten Vorsicht, nicht rathsam, den Drachen steigen zu lassen, wenn man ihn nicht schon vorher in die Höhe gebracht habe. Es scheint dies letztere gerade eben soviel zu seyn, als einen Blitzableiter aufrichten, indem das Gewitter eben über dem Hause steht. Ueberdieſs ist bei einem Gewitter die Elektricität schon so merklich, daſs man sie durch weit leichtere und sicherere Mittel, als durch den Drachen, beobachten kann [1]. Ist inzwischen die Luft während des Steigens sehr stark elektrisirt, so räth er bloſs an, den Haken einer Seite an die Schnur zu hängen, und das Ende derselben auf dem Boden herabfallen zu lassen, sich selbst aber zu allem Ueberflusse auf einen isolirten

1 S. *Electricitätszeiger*.

n Stuhl zu stellen. Durch dieses Mittel wird der Elektricität r Uebergang zur Erde, als zu ihrem Ziele, durch die Kette gewiesen, der isolirte Körper hingegen verstattet ihr keinen ien Weg.

Ist nun der Drache hoch genug gestiegen, so zieht man die nur durchs Fenster in ein Zimmer, bindet eine starke sei-Schnur daran, und befestigt das Ende derselben an einen weren Tisch. Auf diesen Tisch wird ein kleiner isolirter duttor gestellt, und durch einen Draht mit der Schnur ver-den. Man könnte auf diesen Conductor, wie gewöhnlich, Quadrantenelektrometer befestigen; da er aber durch das wanken der Schnur oft umgeworfen wird, so ist das Elek-meter vor dem Zerbrechen sicherer, wenn man es auf einem ernen, mit Siegellack überzogenen Stative so neben den Con-tor stellt, dafs es denselben berührt. Dieses Elektrometer t dann die Stärke der in der Luft befindlichen Elektrici-n.

Um ihre positive oder negative Beschaffenheit zu prüfen, n man eine Glasröhre gebrauchen, an deren einem Ende ein ht mit einem Knopfe eingeküttet ist. Man fasset das andere e an, und berührt die Schnur am Drachen mit dem Knopfe Drahts. Da die Schnur isolirt ist, so theilt sie dem Drahte wenig von ihrer Elektricität mit, welches schon zureicht, Beschaffenheit derselben zu bestimmen, wenn man den Knopf Drahtes an ein elektrisirtes Elektrometer bringt. Ist die tricität nicht stark, so kann man ihre Beschaffenheit an der nur selbst durch Annäherung eines elektrisirten Elektrome-untersuchen. Ist kein Elektrometer bei der Hand, so kann aus dem Conductor eine Flasche laden, welche ihre Ladung Zeitlang behält, und also gelegentlich mit dem Elektrome-untersucht werden kann. Hierzu ist besonders die von Ca-lo angegebene Flasche bequem, die man geladen bei sich en kann [1].

Ist die Elektricität des Drachen sehr stark, so kann man s sechs Zoll weit von der Schnur eine mit dem Boden in bindung stehende Kette befestigen, welche die Elektricität,

---

1 S. *Leidner Flasche.*

im Falle sie gefährlich werden sollte, durch einen Funken aufnehmen, und in die Erde führen wird.

Mit dieser Geräthschaft hat Cavallo in den Jahren 1775 und 1776 eine Reihe von Beobachtungen über die Elektricität der Atmosphäre angestellt, deren Resultate bei dem Worte: *Luftelektricität* angeführt werden sollen. Nur ein einzigesmal, am 18ten Oct. 1775, begegnete es ihm, dafs beim Uebergange einer Regenwolke über den Scheitel die Elektricität, welche sich vorher schnell aus einer positiven in eine negative verändert hatte, ungewöhnlich stark ward. Er entschlofs sich daher aus Besorgnifs eines unangenehmen Zufalls, die Isolirung der Schnur aufzuheben, und band in dieser Absicht, da er keine Kette bei der Hand hatte, die seidne Schnur ab. Während dieser Beschäftigung, die kaum eine halbe Minute lang dauerte, bekam er zwölf bis funfzehn starke und heftige erschütternde Schläge in den Armen, der Brust und den Schenkeln. Er band nun die Schnur unmittelbar an einen Stuhl, da aber dieser nur ein schlechter Leiter war, so fing sie an gegen den Fensterrahmen, als den nächsten leitenden Körper, Funken zu schlagen, welche man weit hörte. Diese Funken wurden immer schneller, und ihre geschwinde Folge verursachte einen Laut, der dem Rasseln eines Bratenwenders glich. Sobald die Wolke vorüber war, hörte diese starke Elektricität sogleich auf. Es ward aber weder an diesem, noch einige Tage vorher und hernach etwas einem Gewitter ähnliches wahrgenommen.

Man sieht hieraus, dafs der elektrische Drache, so ein vortreffliches Mittel zur Untersuchung der Luftelektricität er auch ist, dennoch bei starken Graden der Elektricität und vorzüglich bei Gewittern mit vieler Vorsicht behandelt werden müsse. Cuthbertson hat eine eigene etwas complicirte Vorrichtung beschrieben, und auf einer eigenen Kupfertafel abgebildet, um den Drachen mit Bequemlichkeit und Sicherheit in die Höhe steigen zu lassen. Indessen möchten kleine Aërostaten mit brennbarer Luft gefüllt, die man aus Goldschlägehaut sich leicht schon von ansehnlicher Gröfse anschaffen kann, noch bessere Dienste, als der Drache thun. Sie haben den entschiedenen Vorzug vor diesem, dafs sie auch bei ganz windstillem Wetter steigen, und dafs sie noch zu gröfseren Steighöhen ge-

bracht werden können. Sie sind auch bald nach den ersten aërostatischen Versuchen vom Abbé Bertholon in Montpellier, Lichtenberg in Göttingen, und andern mit Vortheil zur Untersuchung der atmosphärischen Elektricität gebraucht worden [1].

Drache, fliegender. S. Feuerkugel.

Drachenkopf.

Caput draconis; ist ein veralteter Name für den aufsteigenden Knoten der Mondsbahn.

Nach Kepler [2] ist dieser Name von den Arabern hergekommen. Er leitet diesen und die folgenden Ausdrücke aus der langen und schmalen (also schlangenförmigen) Gestalt des Streifens her, der an der Himmelskugel durch die Ekliptik und die Mondsbahn eingeschlossen wird. Unter den beiden Spitzen, in welche dieser ausläuft, stelle die eine den Kopf oder Schnabel der Schlange oder des Drachen, die andere den Schwanz vor. *B.*

Drachenmonat.

Mensis draconticus; ist bei den ältern Astronomen die Zeit, welche der Mond gebraucht, um vom aufsteigenden Knoten bis wieder zum aufsteigenden Knoten zu gelangen. *B.*

Drachenschwanz.

Cauda draconis; ein veralteter Name für den niedersteigenden Knoten der Mondsbahn. *B.*

Drahtbrücke. S. Hängebrücke.

Drehwaage.

Coulomb's Waage; *Jugum Coulombicum;* Balance de Coulomb, balance de torsion, balance électrique; *Coulomb's balance.*

---

1 Priestley, Geschichte der Elektricität durch Krünitz S. 116, ingl. S. 222. u. f. Die Elektricität der Lufterscheinungen. Aus dem Französischen des Abt Bertholon de St. Lazare. Leipzig 1792. 1ster Bd. 2tes Kapitel. Von den elektrischen Drachen S. 25. John Cuthbertsons Abhandl. von der Elektricität. Leipzig 1786. S. 28. Cavallo's vollst. Abhandlung 4te Auflage 1797. I. Band S. 317 flgd.

2 Epitome astronom. Cop. Lib. VI.

Diesen eben so nützlichen als interessanten physikalischen Apparat hat CHARLES AUGUSTE DE COULOMB schon 1777 erfunden, indem er Untersuchungen über die Reaction anstellte, welche gedrehete Haare und Seidenfäden ausüben. Er hing dieselben zu diesem Zwecke lothrecht auf, band sie mit ihrem oberen Ende fest, befestigte an dem unteren einen in seinem Schwerpuncte festgebundenen, und daher horizontal schwebenden Arm, weswegen das Werkzeug den Namen einer Waage verdient, und berechnete die Elasticität des um seine Axe gedreheten Fadens aus der Gröfse des von den Enden des Hebelarmes durchlaufenen Bogens [1]. Später dehnte er die Untersuchungen auch auf metallene Drähte aus [2], und gebrauchte den hierfür construirten Apparat nachher auch zu andern verschiedenen, namentlich *elektrischen* und *magnetischen* Forschungen, weswegen derselbe auch den Namen der *elektrischen Waage* erhielt. Man darf also allerdings annehmen, dafs COULOMB durch die Bemühungen, die Elasticität fadenförmiger, um ihre Längenaxe gedreheter Körper zu erforschen, auf die Erfindung seiner Waage unmittelbar geführt sey; allein ausgemacht ist es zugleich, dafs schon früher um 1768 MICHELL den bekannten Apparat construirte, womit er die Repulsion der Sonnenstrahlen mafs [3], und welcher ihm ohne Zweifel gleichfalls die erste Veranlassung zur Construction derjenigen Drehwaage gab, welche später CAVENDISH zur Auffindung der Dichtigkeit des Erdballs gebrauchte. MICHELL's erster Apparat nämlich bestand aus einem dünnen, auf einer feinen Spitze balancirten Drahte mit einem höchst dünnen Bleche an dem einen Arme und einer kleinen magnetischen Spitze am andern zum Einrichten desselben in den magnetischen Meridian, bei seinem späteren aber hatte er zur Vermeidung der, wenn auch noch so geringen Reibung auf dem Stifte den Hebelarm an einem Faden aufgehangen, welche höchst zweckmäfsige Methode COULOMB von Anfang an befolgte. Wie dem auch sey, so dürfen wir immerhin COULOMB als den Erfinder dieses sinnreich ausgedachten

---

1 Mém. des Sav. Étrang. IX.
2 Mém. de l'Ac. 1784. p. 229.
3 Priestley Gesch. d. Opt. übers. von Klügel. p. 282.

und praktisch höchst brauchbaren, vielfache Abänderungen gestattenden Apparates ansehen.

Die *Drehwaage* ist im Allgemeinen bestimmt, sehr kleine Kräfte des Stofses, der Anziehung, Abstofsung u. dgl. zu messen, indem man dieselben gegen einen horizontalen Hebelarm a b wirken läfst, welcher an dem in d befestigten Faden d c frei schwebt, durch die Elasticität desselben, wenn er um seine Axe gedrehet wird, den einwirkenden Kräften widersteht, und durch diesen Widerstand die letzteren mefsbar macht. Hiernach wird die Drehwaage um so empfindlicher seyn, je länger der Hebelarm a c und der ihn tragende Draht d c, und je geringer der Widerstand der Drehung ist, welchen der Faden d c ausübt, vorausgesetzt, dafs derselbe zugleich hinlänglich elastisch sey, und nach der erforderlichen Umdrehung um seine Axe den Hebelarm wieder auf seinen ursprünglichen Stand zurückführe. Man kann daher auch unter den allgemeinen Begriff der Drehwaage das Aufhängen der Magnetnadeln an Spinnefäden oder Seidencoconfäden rechnen.

Fig. 179.

Oft kann es nur darum zu thun seyn, überhaupt zu wissen, ob irgend eine abstofsende Kraft vorhanden sey, welche man zu erkennen wünscht, auch wenn sie nur verschwindend klein ist, oft aber ist die Kraft bedeutend stärker, und es kommt darauf an, ihre gröfsere oder geringere Intensität unter den verschiedenen gegebenen Bedingungen zu finden. Die Drehwaage giebt die Mittel, alle diese verschiedenen Kräfte von der kleinsten bis zur gröfsten zu messen. Wird nämlich ein sehr leichter Hebelarm an einem Spinnefaden aufgehangen, so haben Versuche gelehrt, dafs solche Fäden mehrere tausendmale um ihre Axe gedrehet werden können, ohne eine mefsbare Reaction auszuüben [1], und sie setzen daher einer sie bewegenden Kraft ein unendlich kleines Hindernifs entgegen, sind aber eben deswegen zum *Messen* untauglich, weil ein an ihnen aufgehangener Hebelarm, durch eine zufällig veranlafste Oscillation in Be-

1 Aus Phil. Tr. bei Robison Mec. Phil. I. 377. Bennet drehete einen solchen Faden mehrere tausendmale um seine Axe, fand ihn um mehr als ein Viertheil seiner Länge verkürzt, ohne ein Bestreben nach Zurückdrehung zu entdecken. S. Young Lectures on Nat. Phil. I. 141.

wegung gesetzt, an jedem beliebigen Orte ruhen könnte. Indefs läfst sich nach MICHELL's Verfahren [1] ein Mittel finden, einem solchen Apparate die feinste Reaction zu geben, wenn man ihn mit einer Magnetnadel verbindet, welche man wiederum von der allerschwächsten bis zu derjenigen Gröfse wählen kann, dafs der Spinnefaden noch gerade hinreicht, das Gewicht des Waagebalkens zu tragen. Wollte man vermittelst eines solchen Apparates die geringsten abstofsenden Kräfte, z. B nach FRESNEL's sinnreicher Angabe die Repulsion der Wärme [2], messen, so würde ich vorschlagen, den Hebelarm a b aus einem dünnen Grashalme zu verfertigen und an diesem die kleinen Bleche a und b zu befestigen, durch denselben in der Mitte das feine Endchen Draht c e zu stecken, an dessen Häkchen c den Spinnefaden, am andern Ende e aber die nach Erfordern starke Magnetnadel n s zu befestigen, welche gerade hinreichen mufs, den Hebelarm in den magnetischen Meridian zu richten. (Fig. 180.)

Sollen vermittelst der Drehwaage gröfsere Kräfte durch stärkere Reaction gemessen werden, so hängt man den Arm an einigen Fäden ungezwirnter Seide auf, welche der Drehung um einander so viel stärkeren Widerstand entgegensetzen, je gröfser ihre Menge ist. Inzwischen gestatten diese, eben wie die Magnetnadeln, nicht ohne gröfse Schwierigkeiten eine eigentliche *Messung* der einwirkenden Kraft, und wenn es daher auf diese ankommt, so mufs man nach COULOMB's Vorschlage Metalldrähte zum Aufhängen des Waagebalkens wählen. Will man ferner die abstofsende Kraft der Elektricität untersuchen, und die Drehwaage als *Elektrometer* gebrauchen, so verfertigt man den Waagebalken aus einer dünnen Glasröhre oder aus einem feinen Cylinder Schellack, welchen man leicht erhalten kann, wenn man ein Stück Schellack an einem Kerzenlichte erweicht, und erforderlichen Falls in bedeutender Länge nach Art des Glases auszieht. Zum horizontalen Balanciren desselben hängt man von seiner Mitte herab eine feine Stecknadel, den Knopf nach unten gekehrt, an den Enden aber werden kleine Kugeln von dem Marke der Sonnenblume oder kleine Scheibchen Rauschgold befestigt. Um den Luftzug abzuhalten,

1 Priestley a. a. O.

2 Ann. Ch. Ph. XXIX. 57 u. 107.

wird der Apparat in einen gläsernen Behälter gebracht, und Fig. 181. weil so weite und lange Cylinder, als einerseits die Länge der Hebelarme und andererseits die Länge des Drahtes erfordern, kostbar seyn würden, und viel Raum einnehmen, so besteht die gläserne Umgebung der Drehwaage aus einem weiten Cylinder AB mit einer Glas- oder Messing-Platte bedeckt, auf welcher ein enger, aber längerer Cylinder DC aufgerichtet steht. Unten im weiten Cylinder befindet sich ein getheilter Kreis $\alpha\,\alpha$, über welchem der Hebelarm schwebt, so daſs man den von dem Ende desselben durchlaufenen Bogen messen kann, und oben wird gleichfalls ein im Cylinder drehbarer getheilter Kreis $\gamma\,\gamma$ so angebracht, daſs man seine Grade mit denen des unteren correspondirend einstellen kann, zugleich aber ist an dem Knopfe l, worin der Draht oder Faden der Drehwaage festsitzt, ein Zeiger angebracht, welcher auf die Grade des oberen Kreises zeigt und angiebt, wie viele Male man den Faden um seine Axe gedrehet hat. Für den elektrischen Gebrauch wird der weite Cylinder über dem unteren Kreise durchbohrt, und durch die Oeffnung ein Draht mit zwei kleinen Knöpfchen β, β gesteckt denen man von auſsen die Elektricität mittheilt, durch welche die Kugel an dem einen Arme der Waage abgestoſsen wird. Die Gröſse des Bogens, um welchen sich die Kugel von dem Knöpfchen entfernt, dient dann zum Messen der Stärke der elektrischen Repulsion.

Man giebt dem Hebelarme der Drehwaage eine gröſsere oder geringere Länge, je nach den Untersuchungen, die man damit anstellen will, indem die Kraft, welche am Ende dieses Hebelarmes angebracht eine Umdrehung des Fadens um seine Axe bewirkt, für gleich groſse Bogen der Länge des Hebelarmes umgekehrt proportional ist. Für geringe Kräfte muſs man daher lange Hebelarme wählen. Ist der Faden, woran der Waagebalken hängt, nach dem oben gegebenen Vorschlage ein Spinnefaden, so kann derselbe nur kurz seyn, weil dieser einer Umdrehung um seine Axe keine meſsbare Reaction entgegengesetzt; besteht derselbe aber aus mehreren ungezwirnten Seidenfäden oder aus einem feinen Metalldrahte, so müssen beider Längen um so gröſser seyn, je kleinere Kräfte man damit zu messen beabsichtigt. Rücksichtlich der Metalldrähte insbesondere hat Coulomb aufgefunden, daſs der Widerstand, welchen dieselben

einer Drehung um ihre Axe entgegensetzen, im umgekehrten Verhältnisse ihrer Länge und im geraden der vierten Potenz ihres Halbmessers steht [1]. Aufserdem lassen sich die langen Drähte mehrere Grade umdrehen, und kommen losgelassen wieder auf ihren anfänglichen Standpunct zurück, in welcher Hinsicht der Messingdraht vorzüglich brauchbar ist. Coulomb erhielt Saiten von Messing, Nro. 12 und 7 in einer Länge von etwa 3 F. 30 Stunden lang 7 mal durch einen ganzen Kreis umgedrehet, und sie kamen dennoch mit unveränderter Elasticität wieder auf ihren anfänglichen Standpunct zurück. Endlich aber wird unten gezeigt werden, dafs man die Kraft, welche auf den Hebelarm der Drehwaage wirkt, am bequemsten aus der Zeit der Oscillationen desselben, verglichen mit denen des einfachen Secundenpendels, messen kann.

Auf welche Weise jederzeit bei Versuchen mit der Drehwaage die erhaltenen Resultate zu berechnen sind, wird bei den einzelnen Anwendungen derselben erwähnt werden. Inzwischen zeigt Coulomb [2] und nach ihm noch leichter Biot [3] eine allgemeine Methode dieser Berechnung unter der durch Erfahrung gefundenen Voraussetzung, dafs der Widerstand, welcher ein um seine Axe gedreheter Metalldraht der drehenden Kraft entgegensetzt, dem Winkel der Drehung proportional ist, so lange die Drehung nicht über die Elasticität des gedreheten Körpers hinausgeht, der Draht also losgelassen wieder auf seinen Ruhestand zurückkommt.

Drehet man den Waagebalken, welcher an dem Drahte von beliebiger Länge befestigt ist, aus dem Stande der Ruhe um die durch den lothrecht herabgehenden Draht gegebene Axe, und überläfst ihn dann sich selbst, so wird er durch die Elasticität des Drahtes rückwärts bewegt um diese Axe oscilliren, und seine Bewegung gehört also unter die allgemeine Classe der Bewegungen um eine feste Axe. Wird also angenommen, es habe ein Körper in der Entfernung $= 1$ von der Rotationsaxe in der Zeit $= t$ eine Winkelgeschwindigkeit $= \omega$ erhalten, so wird diese $= r\omega$ seyn für einen Punct in der Entfernung $= r$ von

---

1 S. *Elasticität*.

2 Mém. de l'Ac. 1784, p. 231.

3 Traité I. 520.

dieser Axe. Nennt man die beschleunigende Kraft, welche vermöge der Drehung des Drahtes diesen Punct perpendiculär auf den Radius r bewegt $= \varphi$, so würde diese ihm als frei und allein bewegt gedacht in dem Zeitelemente d t eine Vermehrung der Geschwindigkeit $= \varphi\, dt$ mittheilen, und somit in der Zeit $t + dt$ seine Geschwindigkeit $= r\omega + \varphi\, dt$ seyn. Weil aber dieser Punct mit allen übrigen Puncten des Körpers fest verbunden ist, und sie sich daher ihre Bewegungen gegenseitig mittheilen, so wird die mittlere Winkelgeschwindigkeit, welche für die Zeit $t = r\omega$ war, in der Zeit $t + dt = r\omega + r\, d\omega$ seyn. Wenn man aber dem angenommenen Puncte diese mittlere Winkelgeschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung seiner wirklichen Rotation mittheilte, und dieses zugleich für jedes Element des Körpers, so müſste wegen ihrer Verbindung unter einander und ihrer wechselseitigen Reaction ihre Rotation während des Zeitelementes d t völlig verschwinden. Es werden daher die Geschwindigkeiten $r\omega + \varphi\, dt$ und $r\omega + r\, d\omega$, wenn sie jedem einzelnen Puncte in entgegengesetzter Richtung zukommen, sich gegenseitig das Gleichgewicht halten; und da man sie für jeden Punct eines Elementes des Körpers $= dm$ als constant ansehen kann, so wird dieses nämliche Gleichgewicht auch für alle Gröſsen der Bewegung $(r\omega + \varphi\, dt)\, dm$ und $(r\omega + r\, d\omega)\, dm$ statt finden. Sucht man demnach die statischen Momente dieser Kräfte in Beziehung auf das gemeinschaftliche Centrum der Oscillation, indem man sie mit r, als der Länge des Hebelarmes multiplicirt, an dessen Ende sie wirkend angenommen werden, welches $(r\omega + \varphi\, dt)\, r\, dm$ und $(r\omega + r\, d\omega)\, r\, dm$ giebt, so müssen die Summen dieser Momente für die ganze Ausdehnung des Körpers gleich seyn, oder

$$\int (r\omega + \varphi\, dt)\, r\, dm = \int (r\omega + r\, d\omega)\, r\, dm;$$

und wenn man aus beiden Gröſsen $\int r^2 \omega\, dm$ wegnimmt, so ist

$$\int r\, \varphi\, dt\, dm = \int r^2\, d\omega\, dm.$$

Indem ferner die Zeit und die Winkelgeschwindigkeit ω nach dem Abstande vom Centrum der Oscillation gemessen für jeden Punct gleich sind, so kann man diese unter dem Integralzeichen wegnehmen, und erhält somit

$$dt\int r\varphi dm = d\omega\int r^2 dm.$$

Das letztere dieser Integrale hängt ab von dem Trägheitsmomente des Körpers in Beziehung auf die Entfernung r von der Umdrehungsaxe, das erstere theils von der Gestalt des Körpers, theils von der Intensität der Kraft φ. Es drückt aber φdm die Kraft aus, womit die Elasticität der gedrehten Saite das Element des Körpers dm in der Entfernung r von der Umdrehungsaxe fortstöfst, und $r\varphi dm$ ist das statische Moment hiervon; oder aber die Kraft $r\varphi dm$, auf das Ende des Radius r perpendiculär wirkend, würde einen gleichen Effect hervorbringen, als die Kraft φ auf das Element dm. Die Summe aller dieser Kräfte, in der Entfernung = 1 von der Umdrehungsaxe und der durch Drehung der Saite erzeugten Spannung entgegenwirkend, keine vorher erlangte Winkelgeschwindigkeit vorausgesetzt, würde den Körper in Ruhe bringen, und eine Drehung durch die Elasticität des Fadens aufheben. Heifst dann n die Kraft, welche auf das Ende des Armes von einer Länge = 1 normal wirkend diesen zum Stillstande bringt, und nimmt man den Bogen, um welchen diese Kraft den Hebelarm von seinem Ruhepuncte an der Elasticität der Saite entgegen bewegt hat, gleichfalls zur Einheit an, so mufs n X diejenige Kraft seyn, welche ein ähnliches Gleichgewicht, oder den Stillstand des umgedreheten Armes für einen Winkel = X hervorbringt. Die beiden Kräfte n X und $\int r\varphi dm$ müssen daher einander gleich seyn, weil bei ihrer entgegengesetzten Wirkung die Bewegung = 0 wird, und es ist also

$$nX = \int r\varphi dm.$$

Wird dieser Werth in die allgemeine Gleichung für die Bewegung der Körper [1] substituirt, so ist

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{nX}{\int r^2 dm}; \quad \text{oder kurz } \frac{d\omega}{dt} = \alpha^2 X.$$

Heifst der Bogen, durch welchen man den Hebelarm von seinem Ruhepuncte an (wobei also die Saite gar nicht gedreht

1 Vergl. Th. I. p. 951.

ist) bewegt hat, A, die Entfernung vom Ruhepuncte aber, wo sich derselbe in der Zeit t befindet, X, so ist A — X der vom Anfange seiner Bewegung an durchlaufene Bogen, und da dieser in der Entfernung $= 1$ von der Umdrehungsaxe gemessen wird, so findet man die der Zeit $= t$ zugehörige Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = -\frac{dX}{dt};$$

wobei das — Zeichen deswegen erforderlich ist, weil die Geschwindigkeit zunimmt, je kleiner X wird. Wird diese Gleichung abermals differentiirt, indem dt constant bleibt, so ist

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{d^2X}{dt^2}$$

und hierin substituirt

$$\frac{d^2X}{dt^2} = -\alpha^2 X;$$

wovon das Integral

$$X = a \,\text{Sin.}\, (\alpha t + b)$$

mit zwei willkührlichen Constanten, welche aus den Bedingungen der anfänglichen Bewegung bestimmt werden müssen. Bei den Versuchen mit der Drehwaage läfst man den Waagebalken einen gewissen Winkel $= A$ vom Ruhepuncte an um die Rotationsaxe beschreiben, läfst ihn dann frei oscilliren, ohne ihm eine Anfangsgeschwindigkeit mitzutheilen. Hiernach wird für den Anfang seiner Bewegung, also $t = 0$,

$$X = A; \;\frac{dX}{dt} = 0.$$

Das Erstere erfordert, dafs $A = a \,\text{Sin.}\, b$, das Letztere dafs $0 = a\,\alpha \,\text{Cos.}\, b$ sey. Indem aber α gegeben ist, und a nicht $= 0$ seyn kann, weil sonst A stets $= 0$ seyn müfste, so mufs $\text{Cos.}\, b = 0$ seyn, also $b = 90°$; $\text{Sin.}\, b = 1$ und $A = a$, wodurch die beiden Constanten bestimmt sind. Wenn man daher ihre Werthe in die allgemeine Gleichung substituirt, so giebt dieses

$$X = A \,\text{Cos.}\, \alpha t.$$

In wiefern diese Gleichung das Verhalten der Drehwaage ausdrücke, läfst sich durch folgende Betrachtung einsehen. Drehet man einen willkührlichen, an der Seite hängenden Körper

aus seinem Zustande der Ruhe über dem unter ihm befindlichen getheilten Kreise so, dafs ein Punct desselben den Winkel A mit dem anfänglichen Ruhepuncte bildet, und hält ihn hier fest, so ist $X = A$ und $t = 0$. Läfst man ihn dann los, so wird er durch die Reaction der Saite zu oscilliren beginnen, und so wie hiernach t wächst, wird Cos. αt kleiner, und X nimmt ab; aber die Rotationsgeschwindigkeit wächst, denn der allgemeine, aus dem Werthe von X entnommene Ausdruck $\frac{dX}{dt} = -A\alpha \,\mathrm{Sin.}\,\alpha t$ besagt, dafs der Factor Sin. αt, welcher $= 0$ ist für $t = 0$, mit der Vermehrung dieser veränderlichen Gröfse zugleich wächst. Der stets abnehmende Bogen X wird $= 0$, wenn cos. αt dem Quadranten gleich ist, oder durch π die halbe Peripherie bezeichnet, $= \frac{\pi}{2}$. Man hat alsdann $t = \frac{\pi}{2\alpha}$, und der bewegte Punct befindet sich auf dem ursprünglichen Stande der Ruhe, wird aber hier nicht ruhen, indem die Geschwindigkeit desselben vielmehr ihr Maximum erreicht hat; denn $\frac{dX}{dt}$ wird ein Gröfstes, wenn $\alpha t = \frac{\pi}{2}$, d. i. einem Quadranten gleich ist. So wie aber über diesen Punct hinaus t zunimmt und αt gröfser als ein Quadrant wird, also auch Cos. αt negativ, weil X auf die entgegengesetzte Seite des anfänglichen Ruhepunctes hinübergeht, nimmt die Geschwindigkeit wieder ab, und wird endlich $= 0$, wenn αt dem Halbkreise gleich ist. Dieses giebt für den allgemeinen Ausdruck $\alpha t = \pi$, also $t = \frac{\pi}{\alpha}$ und diesemnach $X = A$ und $\frac{dX}{dt} = 0$, worauf die Oscillation wieder beginnt und ohne Ende fortdauern würde, wenn der Widerstand der Luft und sonstige Hindernisse nicht endlich einen Stillstand herbeiführten [1]. Jede Oscillation wird dann vollendet in der Zeit T, deren Werth $= \frac{\pi}{\alpha}$ ist, oder hierfür den obigen Ausdruck wieder eingeführt, erhält man

---

1 Vergl. hierüber *Elasticität.*

$$T = \pi \left(\int \frac{r^2 dm}{n} \right)^{\frac{1}{2}}$$

wonach also die Zeit gefunden werden kann, wenn man die Gestalt des Körpers und die Constante n kennt.

Coulomb hing an die von ihm gebrauchten Metallsaiten Cylinder, in deren lothrechter Axe die herabhängende Metallsaite befestigt war, mit einem kleinen Zeiger, welcher auf einem unten liegenden getheilten Kreise die durchlaufenen Bogen maſs, und dessen Masse gegen die des Cylinders als verschwindend betrachtet und bei der Berechnung vernachlässigt werden konnte. Er findet dann für diesen Fall

$$T = \pi \left(\frac{M a^2}{2 n} \right)^{\frac{1}{2}}$$

worin π und n die angegebene Bedeutung haben, M aber die Masse des Cylinders bezeichnet, gegen welche die des Drahtes verschwindend ist, und a den Halbmesser des Cylinders [1]. Ist aber der aufgehangene Körper ein in seiner Mitte an dem Drahte befestigter Cylinder von verhältniſsmäſsig sehr geringer Dicke gegen seine Länge, so würde man nach Biot auf folgende Weise die Bestimmung von $\int r^2 dm$ erhalten können. Zerlegt man den Cylinder durch Schnitte lothrecht auf seine Axe in verschwindend kleine Theile, so stellt dr die Dicke eines solchen Theilchens vor, und ist dann ϱ der Halbmesser des Kreises seiner Basis, so ist sein Inhalt $= p \varrho^2 dr$, wenn p das Verhältniſs des Kreises zu seinem Durchmesser als Einheit genommen bezeichnet. Ist der Cylinder sehr dünn, so kann man ein solches abgeschnittenes Theilchen als ein solides Element dm ansehen, dessen Theile von der Rotationsaxe sämmtlich gleich weit entfernt sind, und das Integral $\int r^2 dm$ wird $= \int p \varrho^2 r^2 dr$, welches $= \frac{1}{3} p r^3 \varrho^2$ ist, da $p \varrho^2$ für alle einzelnen Abschnitte constant bleibt. Um dieses Integral auf die gesammte Masse des Cylinders auszudehnen, dessen Länge $= 2l$ angenommen wird, muſs man es von $r = 0$ bis $r = l$ nehmen, und verdoppeln, wodurch man $\frac{2}{3} p \varrho^2 l^3$ erhält. Es ist aber die Masse des Cylinders $= M = 2 p \varrho^2 l$, welches substituirt giebt

---

1 Vergl. *Elasticität* Nro. 8.

$$\int r^2 \, dm = \frac{Ml^2}{3}$$

und also nach der oben für die mit lothrechter Axe aufgehangenen massiven Cylinder gefundenen Formel

$$T = \pi \left(\frac{Ml^2}{3n}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Wird hiernach die Drehwaage mit einem gewöhnlichen Pendel verglichen, so ist für letzteres, wenn π gleichfalls die halbe Peripherie des Kreises, L die Länge desselben, g die Fallhöhe in 1 Secunde und T die Zeit der Oscillationen in Sexagesimalsecunden bedeutet, im einfachsten Ausdrucke

$$T = \pi \left(\frac{L}{g}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Wenn man daher in dieser und der vorhergehenden Formel die Zeiten gleich setzt, so erhält man

$$\frac{L}{g} = \frac{Ml^2}{3n}.$$

Man kann aber die Masse des Körpers einfach durch sein Gewicht ausdrücken, wenn man berücksichtigt, daſs er vermöge desselben auf gleiche Weise als der Körper des Pendels zu fallen strebt, und demnach $gM = P$ setzt. Dieses substituirt wird für einen sehr dünnen, horizontal schwebenden, in seiner Mitte aufgehangenen Cylinder, dessen Länge $= 2l$, dessen Halbmesser aber hiergegen verschwindend ist,

$$1. \quad n = \frac{Pl^2}{3L}.$$

Für einen mit lothrechter Axe aufgehangenen massiven Cylinder aber, wenn man diesen auf die oben angegebene Art an dem Drahte um seine Axe oscilliren läſst, und den Halbmesser desselben $= a$ nennt, ist

$$2. \quad n = \frac{Pa^2}{2L}.$$

Um aber diese Formln praktisch brauchbar zu machen, darf nicht übersehen werden, daſs die Normallänge des Secundenpendels nach den Schwingungszeiten des oscillirenden Körpers corrigirt werden muſs, indem sonst eine Vergleichung mit dieser Normallänge voraussetzen würde, daſs auch der oscillirende Körper nur eine Schwingung in einer Secunde machen müſste.

Indem aber die Längen der Pendel sich verhalten wie die Quadrate der Schwingungszeiten, so wird der hierzu erforderliche Coefficientgefunden, wenn man das Quadrat der Zahl der Secunden durch das Quadrat der Zahl der Oscillationen dividirt. Soll diesemnach die Kraft, womit die aus einem Waagebalken von verschwindender Dicke bestehende Drehwaage einer auf sein Ende normal wirkenden Kraft vermöge ihrer Elasticität entgegenstrebt, aus den Oscillationen derselben in denjenigen Gewichtstheilen gefunden werden, worin das Gewicht desselben $= P$ gegeben ist, so nenne man diese Kraft $= n$; die Länge des Hebelarmes, in gleichem Maſse als die des einfachen Secundenpendels gemessen $= 2\,l$; die Länge des Secundenpendels $= L$; die Zahl der Schwingungen, welche der Waagebalken macht $= m$; die Zahl der Secunden, worin sie vollendet werden $= t$; und man hat für 1.

$$n = \frac{P\,l^2}{3\,L\left(\frac{t}{m}\right)^2}$$

Wird aber der Halbmesser des mit einem verhältniſsmäſsig nicht schweren Zeiger versehenen Cylinders, welcher statt des Waagebalkens aufgehangen ist $= a$ gesetzt, so erhält man für 2.

$$n = \frac{P\,a^2}{2\,L\left(\frac{t}{m}\right)^2}.$$

Nimmt man endlich die Länge des einfachen Secundenpendels unter dem 45sten Grade der Breite $L = 440{,}4$ Linien an, so erhält man für einen horizontalen Waagebalken der Drehwaage

$$1.\quad n = 0{,}00075689\ P\,\frac{l^2}{\left(\frac{t}{m}\right)^2}.$$

und für einen in seiner Axe aufgehangenen Cylinder

$$2.\quad n = 0{,}00113533\ P\,\frac{a^2}{\left(\frac{t}{m}\right)^2}.$$

wobei der beständige Logarithmus für $1. = 0{,}8790314 - 4$; für $2. = 0{,}0551227 - 3$ ist. Diese Formel giebt also die Kraft der Elasticität $= n$, welche einen Draht oder einen ähnlichen

Körper lothrecht auf einen Hebelarm von der Länge einer Linie um den Winkel = X zu drehen vermag.

Um die praktische Anwendung dieser Formel besser zu übersehen diene folgendes Beispiel zu Nro. 2. Coulomb[1] hing an einen Messingdraht von Nro. 12. einen Cylinder, dessen Gewicht = P = 2 ℔ und dessen Halbmesser = a = 9,5 Lin. betrug. Dieser machte 20 Oscillationen in 242 Secunden. Indem nun die Länge des einfachen Secundenpendels von Coulomb zu 440,5 Lin. angenommen wird, so ist hiernach

$$n = \frac{2\,(9,5)^2}{2 \times 440,5 \left(\frac{242}{20}\right)^2} \text{ in Pfunden} = \frac{1}{715}\ ℔;$$

oder dieser Draht wirkt einer in der Entfernung von seiner Axe = 1 Lin. ihn drehenden Kraft mit $\frac{1}{715}$ ℔ entgegen. Indem aber die auf einen Hebelarm wirkenden Kräfte den Längen derselben umgekehrt proportional sind, so würde für einen Hebelarm von q Linien $n = \frac{1}{q \cdot 715}$ ℔ seyn. Ist ferner n für einen Draht von einer gegebenen Länge gefunden, so verhalten sich die Elasticitäten bekanntlich umgekehrt wie die Längen, und wenn daher die Länge des elastischen Drahtes, welcher zur Bestimmung von n diente, λ heifst, so wird n für eine andere Länge = λ' gefunden, wenn man $n = \frac{1}{q \cdot 715} \times \frac{\lambda}{\lambda'}$ nimmt.

Endlich bleibt aber hierbei noch eine Schwierigkeit. Die Kraft der Reaction eines elastischen, um seine Axe gedreheten Drahtes = n ist nämlich, wenn der Zeiger auf 0 und sich selbst überlassen in Ruhe steht, = 0, und wird für einen gegebenen Winkel A = n A, oder sie ist dem Winkel, um welchen der Draht gedrehet wird, proportional. Die Bestimmung des erforderlichen Winkels liegt nicht unmittelbar in der gegebenen Formel, insofern die Elasticität aus den Schwingungen berechnet wird, diese aber nach mechanischen Gesetzen für alle Winkel isochronisch sind. Coulomb hat indefs die Formel auf eine

---

1 Mém. de l'Acad. 1784. p. 248.

solche Weise entwickelt, dafs bei derselben sowohl als auch bei den Versuchen ein Winkel von 180° oder $= \pi$ zum Grunde lag, welcher daher auch bei dieser Bestimmung als Einheit angenommen wird, wenn man die Elasticität auf die angegebene Weise aus den gegebenen Gröfsen finden will. *M.*

Drosometer.

Thaumesser; von δρόσος, Thau. Eine Waage, deren eines Ende eine Platte trägt, die den Thau vorzüglich gut annimmt, und das andere ein Gegengewicht, das nicht so leicht bethaut wird. Vielleicht liefse sich für ein so geringes Gewicht mit Vortheil die kleine Waage anwenden, welche zum Sortiren des Baumwollengarns gebraucht wird, und an welcher der Zeiger das Gegengewicht macht. Statt der Platte möchte es rathsamer seyn, ein Büschel Wolle oder Eiderdunen am kürzern Arm anzuhängen, da diese leichten Körper nach den Erfahrungen von Wells und Harvey den Thau in vorzüglicher Menge aufnehmen. Einige rathen an, das *Atmometer* mit zu Rathe zu ziehen, weil während des Thauens ein Theil wieder verdampft; allein da nach den Versuchen des genannten Physikers die Bethauung selbst vom Feuchtigkeitszustande der Luft abhängig ist, und hinwiederum die Angaben des Atmometers durch den Thauniederschlag modificirt werden, so scheint diese Vorsicht überflüssig zu seyn [1]. *H.*

Druck.

Pressio; Pression; *Pressure.*

Obgleich man im gemeinen Leben und gleichfalls in der Mechanik die Bedeutung des Wortes Druck für genügend festgesetzt hält, so zeigt sich doch bei genauerer Untersuchung, dafs es schwer ist, eine scharfe Definition davon zu geben. Meistens versteht man darunter *das Bestreben eines ruhenden Körpers einen andern berührten Körper in Bewegung zu setzen*, und bezieht dieses entweder auf das Verhalten des ersteren im Allgemeinen, oder betrachtet es als die Wirkung einer ihn treiben-

---

1 S. *Thau.*

den Kraft. Um aber nicht allgemein jede *bewegende* Kraft eine *drückende* zu nennen, wird die Bedingung der *Ruhe* zugleich mit in die Definition aufgenommen[1]. Im Allgemeinen ist der drückende Körper allerdings in Ruhe, und zwar deswegen, weil ein anderer ihm entgegenwirkender, oder ein unüberwindliches Hinderniſs entgegensetzender, Körper seine Bewegung unmöglich macht. So sagt man, daſs ein Mensch, ein Stein, ein Stück Blei durch ihr Gewicht gegen den Boden, das Wasser gegen die Wände der Gefäſse, die Luft gegen die Oberfläche der Erde oder eine sie umschlieſsende Hülle drücken. Streng genommen ist aber der Zustand der Ruhe keine nothwendige Bedingung des Druckes. So wird man nicht sagen können, ein Gewichtstück drücke nicht mehr gegen eine Waagschale, wenn dieselbe sinkt, oder das Wasser übe keinen Druck aus gegen die herabgehenden Kasten eines oberschlächtigen Rades[2], wie schon daraus unverkennbar hervorgeht, daſs man oft sagt, es werde ein Gegenstand durch eine Last *herabgedrückt*, *niedergedrückt*. ROBISON[3] erläutert dieses ausführlich, indem er davon ausgeht, daſs mechanische Wirkungen den herrschenden Ansichten gemäſs hervorgebracht werden sollen durch *Druck* und *Stoſs*, welche man als wesentlich verschiedene Kräfte und Kraftäuſserungen zu betrachten pflege. Liegt z. B. eine Kugel auf dem Tische, und man drückt diese an eine Seite, so wird sie sich bewegen, und in dieser Bewegung fortfahren, wenn ihr der drückende Gegenstand folgt. Eben so würde auch ein Rad umgedreht werden, wenn man auf eine seiner Speichen drückte, und mit diesem Drucke fortführe. Eben diese Bewegungen, welche unleugbar Folgen des Druckes sind, könnten auch durch eine ge-

1 GEHLER alte Ausg. I. 604. sagt: wenn ein *ruhender* Körper u. s. w. In der Encyclop. méthod. Art. Pression heiſst es: Action d'un corps pésant d'en mouvoir un autre. YOUNG Lectures I. 59. II. 3. definirt: Pressure is a force, counteracted by another force, so that *no motion is produced*. Weil hierbei die Wirksamkeit einer Kraft und das Bestreben, eine Bewegung hervorzubringen, unverkennbar ist, ohne daſs eine Bewegung hervorgebracht und die Aeuſserung der Kraft wahrnehmbar wird, so führte dieses auf den Unterschied der *lebenden* und *todten* Kräfte. Vergl. *Kraft*.

2 Christian Mécan. indust. I. 16 u. 123.

3 Mechan. Philos. I. 5 ff.

pannte Feder und nach dem Aufwinden derselben vermöge ihr Elasticität hervorgebracht werden. Ein Gewicht kann unmittelbar auf eine Unterlage drücken, aber auch auf einen Gegenstand drückend wirken, wenn es an einem Faden an denselben gebunden ist. So könnte man überhaupt das Gewicht eines Körpers, und die Ursache, wodurch er zu fallen sollicitirt wird, als Folge eines Druckes ansehen, und hiernach eine Menge Kräfte unter dem Namen eines Druckes zusammenfassen. Indefs könnte eine gleiche Bewegung auch durch einen einfachen Stofs einer Feder oder eines sonstigen Körpers hervorgebracht werden, wenn dieser auch sogleich nach dem Stofse ruhete. Hiernach soll dann keine Vergleichung zwischen Stofs und Druck statt finden, indem ersterer als unendlich grofs gegen letzteren anzusehen sey. Robison bemerkt gegen diese oft aufgestellte Meinung, dafs niemand einen Unterschied wahrnehmen könne zwischen der Bewegung einer Kugel, wenn diese durch einen Stofs und wenn sie durch ihr Bestreben zu fallen hervorgebracht sey[1]. Man habe daher den Druck blofs als ein *Bestreben zur Bewegung*, ohne wirkliche Ortsveränderung, betrachtet, und die hierbei wirksame Kraft in dieser Hinsicht eine todte genannt. Dafs, sagt Robison, werde durch eine Kugel, wenn sie gegen eine andere auf einer unbeweglichen Unterlage ruhende stöfst, eben so wenig eine Bewegung hervorgebracht, als durch blofsen Druck, und zeigt dann weiter, wie diese Betrachtungen manche Naturforscher vermocht hätten, alle Bewegungen von einem Drucke abzuleiten, und die Kräfte aufzusuchen, welche diese hervorbringen sollen.

Wollen wir uns hierbei nicht in die unendlichen Speculationen über das eigentliche Wesen der Kräfte verirren, so müssen wir bei demjenigen stehen bleiben, was zunächst durch den Sprachgebrauch bestimmt wird. Hiernach ist es allerdings schwer, eine Definition von dem zu geben, was man Druck nennt, obgleich in einzelnen Fällen der Unterschied zwischen Druck und Stofs leicht nachzuweisen ist. Im Allgemeinen kann man *Druck* das *Bestreben eines Körpers nennen*, *Bewegung*

1 Ein Unterschied ist hierbei allerdings wahrnehmbar, indem im ersteren Falle die Bewegung stets gleichbleibend, im letzteren beschleunigt seyn mufs.

in einem andern hervorzubringen, ohne Rücksicht darauf, ob derselbe bewegt wird oder nicht, und in bestimmter Beziehung darauf, dafs *weder seine eigene Bewegung, noch diejenige, welche er dem gedrückten Körper eben so gut mittheilen als nicht mittheilen kann, dabei in Betrachtung kommt*, indem der Druck als solcher allezeit so gemessen wird, als sey der Körper in Ruhe. Diese letztere Bestimmung bezeichnet die wesentliche Unterscheidung vom *Stofse*, bei welchem der stofsende Körper nie anders als bewegt gedacht werden kann, und die Bewegung zur Bestimmung des Effectes unumgänglich erforderlich ist. Man könnte hiergegen einwenden, dafs bei der Fortpflanzung des Stofses durch eine Reihe an einander liegender elastischer Kugeln jede zwischenliegende als ruhend erscheine, dennoch aber als gestofsen und als stofsend betrachtet werden müssen; allein ersteres ist strenge genommen nicht der Fall, indem jede dieser Kugeln nothwendig durch einen, ihrem erhaltenen Eindrucke proportionalen Raum bewegt werden mufs. Nähme man die Kugeln als vollkommen hart an, so würde dieses zwar wegfallen, damit aber zugleich auch der Effect, und die ganze Reihe wäre als ein einziger zusammenhängender Körper anzusehen, durch welchen eben so gut der Stofs als auch der Druck *fortgepflanzt* werden könnte. Endlich ist auch beim *Drucke* noch zu berücksichtigen, dafs ein gleiches Verhalten statt findet zwischen dem drückenden und dem gedrückten Körper, indem der letztere mit einer gleichen Kraft dem ersteren entgegenstrebt, als womit er durch jenen afficirt wird [1], wobei die etwa entstehende Bewegung als die Differenz des Druckes und des Widerstandes angesehen werden kann.

Thomas Young giebt eine sehr genaue Ansicht dieser Sache wenn er sagt [2], dafs ein grofses Gewicht eine Uhrfeder genau auf gleiche Weise zu beugen vermöge, als ein kleines, welches von einer gewissen Höhe herabfällt; allein ganz etwas anderes ist es, eine Feder auf einen gewissen Punct zu beugen, als sie in dieser Beugung zu erhalten, und beides ist gar nicht vergleichbar, indem dieses das Mafs der fortdauernden Reaction der Fe-

1 Hutton Dict. II. 228.

2 Lectures on Nat. Phil. I. 59.

ist, wenn sie bis auf einen gewissen Punct gebeugt wird, aber das Mafs der Summe der Effecte, welche die nämli- Feder in verschiedenen Graden ihrer Beugung für einen ge- sen Zeitraum entgegensetzt. Man kann daher sagen, dafs *Stofs* durch die kleinste Masse rücksichtlich des Effectes durch die gröfste Masse bewirkten *Drucke* gleichzu- seyn.

Indefs hindert uns nichts, zwei (und mehrere) Drucke mit nder zu vergleichen, wenn wir die Anfangsgeschwindigkei- bestimmen, welche sie bei weggeschafftem unüberwindlichem dernisse erzeugen würden, auch läfst sich eine Zusammen- ung der Drucke eben so gut als der Kräfte construiren, in- auch eine durch den Druck entstandene quantitas motus enommen werden kann, welche entstehen müfste, wenn das rstehende Hindernifs weggenommen würde. So werden zwei entgegengesetzte Drucke sich einander aufheben, n die Gröfsen der Bewegung einander gleich sind, welche hervorbringen würden. Auf gleiche Weise lassen sich auch , vier, ... n Drucke eben so als drei, vier, ... n Kräfte struiren, welches auch wirklich durch diejenigen *Diago- maschinen* geschieht, bei denen ein gegebener Punct durch chiedene in entgegengesetzter Richtung ausgespannte Fäden mittelst an denselben hängender Gewichte sollicitirt wird [1].

Wollte man den Druck selbst als das Resultat einer Kraft ehen, so müfste man auch dasjenige, was demselben Wider- nd leistet, mit diesem Namen belegen, wie auch verschie- e Gelehrte gethan haben [2]. Die Beantwortung der Frage, ob des geschehen solle oder nicht, ist schwierig, und führt zu wickelten Untersuchungen. Ohne sich in das Gebiet der culationen zu verirren, läfst sich hierüber Folgendes fest- en. In so fern die blofse Materie, als solche, nach unserer

1 Vergl. *Bewegung, bewegende Kräfte.* Th. I. p. 933. Sehr hrlich, und mit Angabe der Versuche verschiedener Gelehrten, e wie Bernoulli, d'Alembert, La Place u. a. die Gesetze des kes unmittelbar auf die Gleichheit der Effecte von gleichen Ur- en zurückzuführen suchten, findet man diesen Gegenstand behan- in der Encyclop. Brit. Suppl. Art. Dynamics.

2 Vergl. Fischer Wörterb. I. Art. Druck.

Vorstellung unbewegt und gleichsam todt ist, jede Bewegung, jede Wirkung aber erst durch irgend eine Kraft erzeugt werden kann, so ist auch ein Druck als durch die bloſse todte Materie ausgeübt undenkbar, auch zeigt die Erfahrung, daſs derselbe vermittelst irgend einer Kraft, z. B. der Schwere, der Elasticität, der thierischen Muskelkraft u. s. w. hervorgebracht werde. In dem Begriffe einer Kraft liegt aber die Wirksamkeit derselben nothwendig eingeschlossen, in so fern eine unwirksame Wirksamkeit, eine unthätige Thätigkeit, eine contradictio in adjecto ist. Wirklich äuſsern sich auch die drückenden Körper allezeit thätig, sobald sie vorhanden sind. Wollte man dagegen anführen, daſs z. B. die Expansion des Dampfes nicht vorhanden sey ohnerachtet der Anwesenheit des Wassers, woraus er besteht, und daſs die thierischen Muskeln auch ruhen, mithin zu drücken aufhören können, so muſs hiergegen bemerkt werden, daſs Wasser immer noch kein Dampf ist, und bei den thierischen Muskeln die drückende Kraft jederzeit erst durch die Willensthätigkeit erzeugt werden muſs, diesemnach auch mit dem Tode aufhört, ihren Druck als schwere Körper abgerechnet. Auch eine Stahlfeder wird erst dann zu drücken anfangen, wenn derjenigen ihr inwohnenden Kraft entgegengestrebt wird, vermöge welcher die Theile derselben eine einmal angenommene gegenseitige Lage beizubehalten sollicitirt werden. Ganz etwas anderes ist es aber mit dem Widerstande der gedrückten Körper. Wollte man annehmen, daſs sie vermöge einer ihnen eigenen Kraft dem drückenden oder in sie einzudringen strebenden Körper entgegenwirkten, so müſste eben diese in den nicht gedrückten Körpern eine unwirksame, unthätige, ruhende seyn, und allezeit erst beim beginnenden Drucke hervorgerufen werden, was gegen den Begriff einer Kraft streitet. Dasjenige vielmehr, was dem Eindringen der Körper sich entgegensetzt und Widerstand leistet, ist der Zusammenhang ihrer Theilchen unter einander, welcher genügend widersteht oder überwunden wird, wenn die Kraft der Anziehung als Ursache dieses Zusammenhanges, geringer ist als der, ein Zerreiſsen der Theilchen bewirkende Druck. Wie es aber zugehe, daſs die Kraft der Anziehung nicht bloſs diesen Zusammenhang bewirke, sondern auch noch einen Widerstand gegen einen drückenden Körper ausübe, kann hier nicht untersucht werden, und muſs ich des-

wegen auf dasjenige verweisen, was im Artikel *Cohäsion* abgehandelt ist [1]. Flüssige Körper können daher an und für sich, und als einzelne Massen gedacht, eben dieses fehlenden Zusammenhanges ihrer einzelnen Bestandtheilchen wegen, nicht eigentlich gedrückt werden, wenn sie nicht in Gefäſsen eingeschlossen sind, oder als ganze Massen auf der festen Oberfläche der Erde ruhen, als die Luft und das Wasser der Oceane. Man sagt zwar allerdings, daſs Luft und Wasserschichten durch die über ihnen befindlichen Massen gedrückt werden, allein dieses ist mehr ein statisches Schwimmen in denselben, wenn man von den festen Wänden einschlieſsender Gefäſse abstrahirt. Sind daher die drückenden Körper specifisch schwerer, so werden sie in ihnen herabsinken, mithin ist das Verhalten hier ein anderes und erfolgt nach anderen Gesetzen, als der Druck fester Körper.

Die Fortpflanzung des Druckes durch einen festen, flüssigen oder expansibelen Körper ist in ihrem Verhalten so einfach und leicht begreiflich, daſs sie kaum eine besondere Erwähnung verdient, wenn man nicht zugleich eine speculative Untersuchung über die Elementartheilchen der Körper einmischen will. Ist nämlich einmal die Richtung gegeben, in welcher ein Körper den widerstehenden drückt, so werden in eben derselben eigentlich nur die ihn unmittelbar berührenden Theilchen zur Bewegung sollicitirt werden, diese üben einen gleichen Inpuls gegen die sie berührenden aus, und so fort auf stets weiter entfernt liegende Theile. Daſs hierbei zugleich alle Theilchen der Körper um einen gewissen, der Stärke des Druckes proportionalen Theil zusammengedrückt und einander mehr genähert werden, in so fern alle Körper ohne Zweifel mehr oder minder compressibel und elastisch sind, verdient nur gelegentlich erwähnt zu werden. Ein wesentlicher Unterschied findet aber in der Hinsicht statt, ob die gedrückten Körper fest oder flüssig sind. Bei festen Körpern nämlich, deren Theilchen von allen Seiten festgehalten werden, und daher für sich unbeweglich sind, wird jedes folgende Theilchen weniger aus seinem Orte gerückt werden, als das nächst vor ihm in der Richtung des

1 Vergl. *Cohäsion*. T. II. p. 114.

Druckes liegende, mithin wird es auch weniger auf das nächstfolgende drücken, und die Wirkung des Druckes wird daher in dieser Beziehung verhältnifsmäfsig abnehmen und endlich ganz verschwinden. Bei flüssigen Körpern dagegen, sowohl den tropfbaren als auch den expansibelen, deren Theilchen eine bis so weit völlig freie Beweglichkeit haben, als die Wirkungen des Druckes in irdischen Räumen meistens reichen, mufs ein jedes einzelnes Theilchen den erhaltenen Druck allen umgebenden Theilchen gleichmäfsig mittheilen, mithin auch allseitig auf gleiche Weise fortpflanzen, und dieses so weit, bis umschliefsende Grenzen eines festen Körpers die Wirkungsart abändern. Ob man sich hierbei die Elemente der Flüssigkeiten als Kügelchen zu denken habe, wie gemeiniglich geschieht [1], und zur Versinnlichung der Phänomene in der Art, wie die Beobachtungen sie uns zeigen, ganz zweckmäfsig ist, bleibt als rein hypothetisch der Vorstellung eines jeden Einzelnen anheimgestellt. Endlich giebt es noch Substanzen, welche rücksichtlich ihrer einzelnen Bestandtheile, ihrer mefsbaren Partikelchen, zwar zu den festen Körpern gehören, wie Kugelhaufen, Schrot- und Getreide-Haufen, aufgeschütteter Sand, lockere Erde u. dgl. wegen der leichteren Verschiebbarkeit dieser Bestandtheile aber die Form der Gefäfse annehmen, worin sie sich befinden, und somit eine Art von Flüssigkeit zeigen, weswegen sie auch *halbflüssig* genannt werden. Sie können aus diesem Grunde einen Druck nach der Seite hin ausüben, wenn sie in Gefäfsen eingeschlossen oder in gröfseren Massen aufgehäuft sind, denselben aber auch nur unter dieser Bedingung fortpflanzen. In wie fern und nach welchen Gesetzen sie in einem Gefäfse befindlich und gedrückt den erhaltenen Druck auch seitwärts fortpflanzen, darüber fehlt es bis jetzt noch an Erfahrungen [2].

Ein ausgeübter Druck rührt her entweder von einem festen oder flüssigen Körper, und im letzteren Falle wieder von einem tropfbar flüssigen oder expansibelen. Die beiden letzten Classen dürfen wir hier ganz übergehen, indem das Verhalten der tropfbar flüssigen Körper am besten im Artikel *Hydrostatik* be-

1 Vergl. Gehler a. Ausg. I. 607.

2 Vergl. Brandes Lehrbuch d. Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung u. s. w. I. 251.

trachtet werden kann, der expansibelen aber unter *Aërostatik* und *Dampf* gröfstentheils schon abgehandelt ist, zum Theil unter *Luft* noch weiter erörtert werden wird. Abstrahirt man bei festen Körpern ferner von demjenigen Drucke, welcher durch thierische Muskelkraft, durch die Elasticität gespannter Federn, gewundener Seile und auf ähnliche Weise modificirter Substanzen ausgeübt wird, so drücken diese blofs nach dem Verhältnisse ihres Gewichtes vermöge ihrer Schwere. Die *Gröfse des Druckes* ist also der *Gröfse ihres Gewichtes* direct proportional, wird durch übliche, im Voraus mehr oder minder genau bestimmte Normalgewichtstücke ausgedrückt, und dient alsdann wieder zur Vergleichung desjenigen Druckes, welchen expansibele, tropfbar flüssige Körper, gespannte Federn, die thierische Muskelkraft und andere dergleichen wirkende Ursachen ausüben, selbst auch zur Bestimmung der Gröfse des Stofses oder der Wirksamkeit bewegter Massen u. s. w. Insofern dieses aber allgemein bekannt ist, würde eine weitere Auseinandersetzung überflüssig seyn [1]. Der Druck fester Körper wird ferner über diejenige Fläche verbreitet, auf welcher sie ruhen, und da ihre Theile vermöge ihrer Festigkeit sich nicht trennen oder über einander hingleiten, so kann ein jeder grofser oder kleiner Druck über eine beliebig grofse oder kleine Fläche verbreitet, und selbst in einem einzelnen Puncte vereinigt seyn, oder als in demselben vereinigt angesehen werden. Die *Richtung des Druckes* endlich fällt mit der Richtung der Schwere, also mit der Fallinie zusammen, und ist somit entweder auf die gedrückte Ebene normal, oder in einem beliebigen Winkel gegen dieselbe geneigt [2], und werden die Gesetze hierüber zum Theil bei der Lehre vom Falle der Körper auf der geneigten Ebene untersucht [3].

---

1 Vergl. Brandes Lehrbuch d. Gesetze d. Gleichgewichts u. d. Bewegung. Leipz. 1817. I. p. 5 ff.

2 S. Euler Nov. Com. Pet. XVIII. 289. Hind. Arch. I. 74. Paoli in Mem. di Mat. e fis. della Soc. It. VI. 534. de Lorgna ib. VII. 178. Delanges ebend. V. 107. d'Alembert Opusc. de Mathém. VIII. 36. am vollständigsten J. A. Grunert Statik fester Körper. Halle 1826. 8. p. 564 ff.

3 S. *Ebene, geneigte.* Vergl. *Fall.*

Druck halbflüssiger Körper.

Inzwischen sind noch einige Aufgaben übrig, welche ihres praktischen Nutzens wegen allerdings eine Untersuchung verdienen, wegen der Ungewifsheit, oder mindestens nicht völligen Gewifsheit, der dabei zum Grunde liegenden Bestimmungen aber nicht füglich auf bestimmte Gesetze gebracht werden können. Sie beziehen sich auf denjenigen Druck, welchen die sogenannten *halbflüssigen*, und daher noch einige Cohäsion zeigenden (*semifluid and cohesive substances*), Körper gegen lothrechte oder unter einem gewissen Winkel gegen den Horizont geneigte Flächen ausüben. Das Verhalten der festen und der vollkommen flüssigen Körper in diesem Falle ist genau bekannt, es leidet dieses aber keine völlige Anwendung auf solche Substanzen, welche genau genommen weder fest noch flüssig sind, wie trockner Sand, lockere Erde, schlammige Substanzen u. dgl. Es giebt über die hierher gehörigen Aufgaben zwar eine grofse Menge theils gelehrte theoretische Untersuchungen, theils praktische Erfahrungen; weil es indefs hier der Ort nicht ist, den Gegenstand erschöpfend vorzutragen, so mögen einige elementare Betrachtungen über dasjenige, was dabei am wesentlichsten ist, genügen.

Die genannten Körper, welche man immerhin halbflüssig nennen kann, insofern zwar ihre einzelnen Bestandtheile fest, diese aber nicht unter einander verbunden sind, sich aber in so fern von den flüssigen unterscheiden, als sie nicht blofs der Adhäsion folgen, sondern der Reibung unterliegen, werden zwar ihre Form nicht beibehalten, weil sie im strengsten Sinne als Masse genommen nicht fest sind, können aber eben so wenig eigentlich zerfliefsen und hiernach eine horizontale Oberfläche erzeugen, vielmehr werden ihre einzelnen Theile herabrollen oder herabgleiten, und somit eine geneigte Ebene bilden. Die Neigung, welche sie hiernach annehmen, wenn sie in Haufen aufgeschüttet werden, oder der Winkel, welchen die sie begrenzende, nicht allezeit ebene Seitenfläche mit dem Horizonte macht, ist nach der gröfseren Feinheit, Rauheit und dem specifischen Gewichte ihrer Bestandtheile, desgleichen nach dem Grade ihrer Trockenheit und der Zähigkeit oder der Klebrigkeit des sie bindenden feuchten Mittels veränderlich. Bei locke-

rer Erde und trocknem Sande darf angenommen werden, dafs aufgeschüttete Haufen einen Winkel von 30° bis 50° mit dem Horizonte bilden; auf dieser Neigung beruhet übrigens hauptsächlich die scharfe Berechnung der Stärke des Druckes, welche eben deswegen also nicht statt finden kann, weil jene mit der veränderlichen Beschaffenheit des Materials wechselt.

Es sey indefs in einem verticalen Durchschnitte dargestellt a c d e ein Wall von trockner Erde; a e b der keilförmige Theil, welcher ohne Unterstützung herabgleiten würde, so dafs die Böschung e b mit dem Horizonte eine der Beschaffenheit des Materials zukommende Neigung erhielte, so ist der Druck zu bestimmen, welchen die Masse a e b gegen die Mauer g a e f ausüben würde, und die Kraft, womit letztere diesem zur Erhaltung des Gleichgewichtes widerstehen müfste. Ist h der Schwerpunct des Dreiecks, so ziehe man durch diesen die Linie k i parallel mit e b. Zieht man h l parallel mit a e, ferner k p lothrecht auf a e und k l lothrecht auf k i, so drückt h l den lothrechten Druck des Dreiecks, h k den Druck desselben in der Richtung der geneigten Ebene und p k den gegen die Mauer normal gerichteten aus. Der lothrechte Druck der herabgleitenden Masse, welchen die Linie h l ausdrückt, kann also in die beiden conspirirenden Kräfte h k und k l zerlegt, und hieraus p k als das Mafs des normal gegen die Mauer gerichteten Druckes gefunden werden. Es sind aber die Dreiecke e a b; h k l; h p k

Fig. 182.

ähnlich, mithin da $eb : ea = hl : hk$, so giebt $\frac{ea}{eb} w$ das Gewicht an, womit die keilförmige Erdmasse in der Richtung h k gegen die Mauer drückt, und sie als gegen den Hebelarm e k wirkend umzustofsen strebt, wenn w das Gewicht dieser Erdmasse in gegebenen Gewichtstheilen bezeichnet. Heifst aber der Winkel a e b oder der Böschungswinkel $= v$, so ist $\frac{ea}{eb} = \text{Cos.}\, v$; und w Cos. v giebt also das Mafs des Gewichtes an, wodurch die Mauer nach der Beschaffenheit dieses Winkels gedrückt wird. Es ist ferner $hk : pk = eb : ab = \frac{ea}{eb} w : \frac{ea \times ab}{eb^2} w$ d. i. der Druck, welcher in der Richtung k p gegen den Hebelarm e k ausgeübt wird, indem zugleich $ek = \frac{1}{3} ac$ ist. Ferner ist aber

$\frac{ae \times ab}{2}$ der Flächeninhalt des Dreiecks aeb; und wenn p das spec. Gew. der Erde oder des Sandes bezeichnet, so ist $\frac{ae \times ab}{2}$ p der Ausdruck für das absolute Gewicht, und $\frac{ea \times ab}{eb^2} p \times \frac{ae \times ab}{2} = \frac{ea^2 \times ab^2}{2\,eb^2}$ p ist der Ausdruck für das absolute Gewicht, wodurch die Mauer in der Richtung pk gedrückt wird. Indem aber endlich ke $= \frac{1}{3}$ ae ist, so wird $\frac{ae^3 \times ab^2}{6\,eb^2}$ p als der Ausdruck der Kraft gefunden, womit der Keil von Erde oder Sand die Mauer vermittelst des Hebels ak umzudrücken strebt. Diese Erd- oder Sand-Masse drückt aber nicht absolut, sondern von der geneigten Ebene herabgleitend. Nun ist durch Versuche gefunden, daſs eine Last, auf einer Ebene bewegt, $\frac{1}{3}$ ihres Gewichtes als Reibung ausübt, und diesemnach wird die herabgleitende Masse diese Gröſse durch Reibung verlieren; mithin ist der angegebene Ausdruck im Verhältniſs von 3 : 2 zu vermindern, wonach $\frac{ae^3 \times ab^2}{9\,eb^2}$ p als der Ausdruck derjenigen Kraft gefunden wird, womit der Keil von Sand oder lockerer Erde die Mauer umzudrücken strebt, und zur Herstellung des Gleichgewichtes durch die Stärke der ihn haltenden Mauer aufgehoben werden muſs. Es ist aber $\frac{ab}{be}$ = Sin. aeb. Nennt man daher diesen Winkel = v; die Höhe des Walles ae = h, und setzt diese beiden Gröſsen in die eben gefundene Formel, so erhält man $\frac{h^3 \text{ Sin.}^2 v.\ p}{9}$ für den Druck der Erde. Man kann aber endlich als nahe richtig annehmen, daſs für Erde und Sand der Winkel v, welchen die Seite eines durch Herabgleiten der Theilchen gebildeten Haufens mit der Verticallinie der Mauer macht, im Mittel 45° beträgt, in welchem Falle Sin. ^{2}v $= \frac{1}{2}$ ist, wodurch die eben gefundene Formel $\frac{h^3 p}{18}$ wird.

Um den Widerstand der Mauer zu finden, welchen sie diesem Drucke entgegensetzt, nehme man zuerst an, daſs der

Durchschnitt derselben eine rechtwinkliche Fläche bilde, oder dafs sie oben gleiche Tiefe habe als unten. Liegt dann in m der Schwerpunct derselben, welcher in der Richtung m n herabdrückt, so läfst sich ihre Masse betrachten als ein Gewicht, welches über den Hebelarm f n hinausgedrückt werden soll. Der Flächeninhalt des lothrechten Querschnittes der Mauer ist $fg \times ga$, oder wenn man die Höhe, wie oben $= h$; die zu suchende Tiefe $= x$ setzt, so ist derselbe $= hx$. Ist dann das spec. Gew. der Substanzen, woraus sie besteht $= w$; und wird berücksichtigt, dafs das Gewicht derselben über den Hebelarm $fn = \frac{x}{2}$ hinausgedrückt werden soll; so ist das Moment ihres Widerstandes auf gleiche Weise, als dasselbe für den Keil von lockerer Erde und Sand oben gefunden wurde, $= \frac{hx^2}{2} w$. Sollen beide Momente einander das Gleichgewicht halten, so mufs

$$\frac{hx^2}{2} w = \frac{h^3 \operatorname{Sin.}^2 v}{9} p$$

seyn; woraus die Tiefe der Mauer

$$x = \frac{h}{3} \left(\frac{2p}{w}\right)^{\frac{1}{2}} \operatorname{Sin.} v$$

gefunden wird. Ist der Winkel $v = 45°$, wie in den meisten Fällen nahe richtig angenommen werden hann, so ist $\operatorname{Sin.} v = \sqrt{\frac{1}{2}}$, und man erhält

$$x = \frac{h}{3} \left(\frac{p}{w}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Es kommt demnach darauf an, den Werth von p und von w zu bestimmen. Besteht die Mauer aus gebrannten Ziegelsteinen, so kann man das spec. Gew. derselben in genähertem Werthe $= 2$ annehmen, und das spec. Gew. der Erde und des losen Sandes wird dann nicht viel geringer, etwa $= 1{,}984$ seyn. Nimmt man beide gleich grofs an, so wird $\frac{p}{w} = 1$ und der Werth für $x = \frac{h}{3}$; d. h. die Mauer mufs den dritten Theil der Tiefe haben, als ihre Höhe beträgt; besteht aber die Mauer aus Bruchsteinen, im welchem Falle $w = 2{,}5$ gesetzt werden kann,

dann ist, $p = 2{,}0$ angenommen, $\left(\frac{p}{w}\right)^{\frac{1}{2}} = 0{,}895$, und x wird $= 0{,}298\,h$ oder nahe genau $= 0{,}3\,h$; d. h. die Tiefe der Mauer muſs 0,3 ihrer Höhe betragen.

Fig. 183. Ist dagegen der Durchschnitt der Mauer ein Dreieck, so ist der Flächeninhalt des lothrechten Querschnittes $= \frac{fe \times ae}{2}$ $= \frac{hx}{2}$, wenn die Dicke der Mauer am Boden durch x bezeichnet wird, und der Hebelarm, über welchen dieselbe hinausgedrückt angenommen werden kann, $fn = \frac{2}{3}\,ef = \frac{2}{3}x$. Hiernach wird, die vorigen Bezeichnungen beibehalten,

$$\tfrac{1}{3}\,h\,x^2\,w = \tfrac{1}{9}\,h^3\,p.\ \mathrm{Sin.}^2\,v.$$

oder $x^2\,w = \frac{1}{3}\,h^2\,p.\ \mathrm{Sin.}^2\,v.$

woraus $x = h\left(\frac{p}{3\,w}\right)^{\frac{1}{2}} \mathrm{Sin.}\,v;$

und wenn auch hierbei $v = 45°$, also $\mathrm{Sin.}\,v = \sqrt{\frac{1}{2}}$ angenommen wird;

$$x = h\left(\frac{p}{6\,w}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Dieses giebt für gebrannte Steine $x = h\sqrt{\frac{1}{6}} = 0{,}408\,h$ oder nahe $= 0{,}4\,h$, also die Dicke der Mauer am Boden vier Zehntheile ihrer Höhe betragend. Für Bruchsteine dagegen wird $x = h\sqrt{\frac{2}{15}} = 0{,}365\,h$ oder nahe genau $\frac{3}{8}\,h$ für die Dicke der Mauer am Boden.

Fig. 184. Ist dagegen der lothrechte Durchschnitt der Mauer ein Trapez, und ihre Tiefe oben geringer als unten, nämlich oben $= ag$ und unten $= ef$, so fälle man das Perpendikel gh, welches mit ae parallel ist, und nehme an, daſs die Gewichte der beiden hierdurch gegebenen Flächen in den Richtungen der Linien n und m auf den Boden drücken. Alsdann müssen die Momente ihrer beiden Gewichte, wenn sie über die Hebelarme fn und fm hinausgedrückt werden, dem Drucke der Erde gegen die lothrechte Linie ae gleich seyn. Zur genauen Berechnung kommt es hierbei auf das Verhältniſs der oberen Tiefe der Mauer zur unteren an, ohne dessen Festsetzung die Aufgabe unbestimmt ist. In den meisten Fällen wird indeſs fh oder der Unterschied der unteren Dicke der Mauer über die obere $= \frac{1}{7}\,ae$

oder dem fünften Theile der Höhe gleichseyend angenommen. Behalten wir also die oben gewählten Bezeichnungen bei, nennen demnach $g\,a = x$, so ist der Hebelarm $f\,m = \frac{2}{3} \times \frac{1}{5}\,h = \frac{2}{15}\,h$; der Hebelarm $f\,n$ aber $= \frac{1}{5}\,h + \frac{1}{2}\,x$. Ferner ist der Flächeninhalt des Dreiecks, welches durch die lothrechte Linie $g\,h$ von der Durchschnittsfläche der Mauer abgeschnitten wird $= \frac{g\,h \times h\,f}{2}$ also nach der obigen Bezeichnung $= h \times 0{,}1\,h = 0{,}1\,h^2$; der Inhalt der übrigbleibenden rectangulären Fläche ist $= h\,x$. Bezieht man die Gewichte derselben auf die Hebelarme $f\,m$ und $f\,n$ über welche sie hinausgedrückt werden sollen, so erhalten wir für den ersten $= \frac{2}{15}\,h \times \frac{1}{10}\,h^2 = \frac{1}{75}\,h^3$; und für den zweiten $= (\frac{1}{5}\,h + \frac{1}{2}\,x)\,h\,x = \frac{1}{5}\,h^2\,x + \frac{1}{2}\,h\,x^2$. Heifst dann, wie oben, das spec. Gew. der Bestandtheile der Mauer $= w$, so ist $(\frac{1}{2}\,h\,x^2 + \frac{1}{5}\,h^2\,x + \frac{1}{75}\,h^3)\,w$ das durch den Druck der Erde zu überwindende Moment der Mauer, welches also mit $\frac{h^3\,p}{18}$ im Gleichgewichte seyn mufs. Aus der Gleichung

$$\left(\tfrac{1}{2}\,h\,x^2 + \tfrac{1}{5}\,h^2\,x + \tfrac{1}{75}\,h^3\right) w = \frac{h^3}{18}\,p$$

findet man

$$x = h\,\sqrt{\left(\tfrac{1}{25} + \frac{p}{9\,w}\right)} - \tfrac{1}{5}\,h$$

also die obere Dicke der Mauer $g\,a = h\,\sqrt{\left(\frac{1}{25} + \frac{p}{9\,w}\right)}$. Für gebrannte Steine wird hiernach $x = 0{,}189\,h$ oder nahe $\frac{1}{5}\,h$; für Bruchsteine dagegen $x = 0{,}159\,h$ oder nahe $\frac{4}{25}\,h$ gefunden, so dafs also in jenem Falle die Mauer oben $\frac{1}{5}$ ihrer Höhe, in diesem aber $\frac{4}{25}$ ihrer Höhe zur Dicke haben, in beiden Fällen aber unten um $\frac{1}{5}$ der Höhe dicker seyn mufs als oben [1].

Dafs man hiervon leicht eine Anwendung auf diejenigen Fälle machen könne, wenn die Zunahme der Dicke der Mauer nach unten eine andere ist, als die hier angenommene, bedarf kaum einer Erwähnung. Ferner ist hier das Verhältnifs blofs für den Zustand des Gleichgewichtes gefunden, wogegen man einwenden könnte, dafs hiernach die Mauer durch jeden zufällig

---

1 Hutton Course of Mathematics u. s. w. 6th. edit Lond. 1811 u. 1813. III Vol. 8. II. 196. u. III. 258.

hinzukommenden Umstand umgestürzt werden müſste. Allein die Mauern bekommen meistens Strebepfeiler, sie erhalten Decksteine oder bei hohen Wällen eine Brustwehr, welche hier nicht mit berechnet sind. Endlich ist bloſs das Gewicht der Mauer in Rechnung genommen, ohne die Festigkeit zu berechnen, welche sie durch den Mörtel erhält. Nach diesem allen sind die angegebenen Formeln für die Anwendung genügend[1].

Druck der Brückenbogen.

Ein ähnliches Problem, welches auf die eben angegebene Weise gleichfalls aufgelöset werden kann, ist die Bestimmung des Druckes, welchen ein Bogen, z. B. ein Brückenbogen, gegen seinen Strebepfeiler ausübt, und der Dicke eines solchen Pfeilers, welche erforderlich ist, diesem Widerstand zu leisten. Es sey demnach a b c d der lothrechte Durchschnitt der Hälfte eines solchen Bogens; k der Schwerpunct dieser Fläche[2]; k l ein Perpendikel aus diesem Puncte auf m a, die Sehne des Bogens. Man ziehe aus dem Mittelpuncte des Kreises o die Linie o k in den Schwerpunct, und auf diese normal die bis t und p verlängerte Linie t k q p; mit o k parallel die Linien l q und g p. Indem nun k l die Richtung bezeichnet, in welcher der halbe Bogen herabdrückt, so läſst sich diese zerlegen in k q und q l, wovon erstere die Richtung normal auf die Fugenlinie r s bezeichnet, in welcher die Steine den Pfeiler umzustoſsen das Bestreben haben, letztere aber mit jener Fugenlinie parallel läuft. Erstere drückt verlängert normal auf den Hebelarm g p, welcher als ein Theil des gebrochenen Hebels f g p angesehen werden kann, und vermöge des erhaltenen Druckes den Pfeiler über den Punct g umzustürzen strebt. Es ist also $kq \times gp$ der

Fig. 185.

1 Ueber dieses oft und vielfach behandelte Problem können verglichen werden Couplet in Mém. de Par. 1726. Lambert in Mém. de Berl. 1772. p. 33. Prony in Bulletin de la Soc. Phil. N. 24. Derselbe sur la Poussée des terres. Par. 1802. 4. Brandes Lehrb. d. Gesetze d. Gleichgew. u. d. Bewegung. Leipz. 1817. I. 252. Hutton Dict. II. 223. wo sich eine ausführliche Behandlung dieses Gegenstandes durch Dr. Young befindet, auch Tabellen für den praktischen Gebrauch angehängt sind; u. v. a.

2 Die Bestimmung des Schwerpunctes ist oft der schwierigste Theil dieser Aufgabe. Vergl. *Schwerpunct*.

Ausdruck der Kraft, womit der halbe Bogen den Pfeiler drückt. Das Gewicht des Pfeilers drückt aber in der Richtung der Linie n, und soll er umgestürzt werden, so mufs sein Gewicht über den Hebelarm $ng = \frac{fg}{2}$ hinübergedrückt werden. Hiernach ergiebt sich das Moment seiner Stabilität $= df \times fg \times \frac{fg}{2} = \frac{1}{2} df \times fg^2$. Bezeichnet man also den Flächeninhalt des halben Bogens abcd durch a, so ist $\frac{kq \times gp}{kl} a$ der Ausdruck der Kraft, womit derselbe den Pfeiler umzustofsen strebt, und wenn beide Kräfte einander das Gleichgewicht halten sollen, so mufs

$$\frac{kq \times gp}{kl} a = \frac{1}{2} df \times fg^2$$

seyn, aus welcher Gleichung fg oder die Dicke des Pfeilers gefunden werden kann, vorausgesetzt dafs beide, sowohl der Brückenbogen, als auch der Strebepfeiler aus gleichem Material erbauet sind.

Die Anwendung dieser Formel wird verschieden je nach der Curve, in welcher die Brücke gewölbt ist. Zur Erläuterung diene die folgende Berechnung eines der einfachsten Fälle. Es sey der Bogen der Wölbung ein Theil eines Kreisbogens, dessen Chorde ma ist; die Spannung des Bogens sey 100 F.; seine Höhe 40 F.; die Dicke oben 6 F; die Höhe des Pfeilers bis an den Tragstein, oder fa sey 20 F.; also seine ganze Höhe 66 F. Hiernach ist der Radius des Kreises, wozu der Bogen ab gehört, oder $ob = \frac{wb^2 + wa^2}{2\,wb} = 51{,}25$ F.; der Bogen ab selbst aber wird gefunden, wenn man berücksichtigt, dafs Sin. ab = aw = 50 F. für den Halbmesser ob = 51,25 F. ist. Sucht man hiernach auf die bekannte Weise den Inhalt des halben Kreissegmentes wba = 1491 F. und zieht diesen vom Inhalte des Rectangels $adcw = 46 \times 50 = 2300$ ab, so bleibt 809 F. für den Flächeninhalt des lothrechten Durchschnittes des halben Brückenbogens = a. Vermöge der Bestimmung des Punctes k folgt dann ferner aus Messung al = 18 F.; lk = 34,6; kv = 42; lv = 24; vw = 8; gk = 19,4;

td = 35,6; und wenn die unbekannte Dicke des Pfeilers fg = x gesetzt wird; te = 35,6 + x. Man erhält dann ferner kl : lv = te : eh; woraus eh nahe genau = 24,7 + 0,7 x gefunden wird; also gh = ge — eh = 41,3 — 0,7 x. Desgleichen hat man kv : kl = gh : gp; woraus gp = 34,02 — 0,58 x gefunden wird. Setzt man die so bestimmten Gröſsen in die obige Formel, nämlich

$$\tfrac{1}{2}\, d f \times x^2 = \frac{kq \times gp}{kl}\, a$$

so erhält man $83\, x^2 = 15431,47 - 263\, x$ und hieraus $x^2 + 8\, x = 467,62$ also x oder die Dicke der Mauer = 18 F. in einem mindestens sehr genäherten Werthe und mit Weglassung der höheren Decimalstellen bei der Berechnung [1]. *M.*

Druckpumpe.

Druckwerk, Appressionspumpe; *Antlia compressoria, antlia elevatoria et compressoria;* Pompe foulante, pompe aspirante-foulante; *Forcing pump, sucking and forcing pump.*

Unter einer Pumpe im Allgemeinen und ohne weitere nähere Bezeichnung versteht man die bekannte gemeine Wasserpumpe, welche sowohl eine Saugpumpe, als auch eine Druckpumpe seyn kann. Unter *Druckpumpe, Druckwerk*, könnte man jede comprimirende Maschine verstehen, allein dem eingeführten Sprachgebrauche nach bezeichnet man die zum Zusammendrücken der festen Körper, insbesondere der Luft und auch des Wassers, bestimmten Apparate mit dem Namen *Compressionsmaschine, Compressionspumpe,* nennt dagegen Druckwerk oder Druckpumpe nur diejenigen Vorrichtungen, welche bestimmt sind vorzugsweise das Wasser, sonst aber auch jede beliebige Flüssigkeit, durch mechanischen Druck in die Höhe zu fördern. Es giebt deren ferner zwei Arten. Die eine heiſst *Druckpumpe* schlechtweg (*antlia compressoria;* pompe foulante; *forcing pump*), und hat die Einrichtung, daſs ein unter dem Niveau des Wassers befindlicher Embolus gegen das in das Pumpenrohr eindringende und dann

---

1 S. Hutton Course. II. 199.

durch ein Ventil abgeschlossene Wasser drückt, wodurch dasselbe gezwungen wird, in einem seitwärts angebrachten Rohre sich fortzubewegen oder aufzusteigen; die andere heifst *Saug-* und *Druckwerk*, in den Bergwerken auch *hoher Satz* (*antlia elevatoria* et *compressoria*; pompe aspirante-foulante; *sucking and forcing pump*), und unterscheidet sich von jener nur dadurch, dafs der Embolus sich in einer gewissen Höhe über dem Spiegel der zu hebenden Flüssigkeit befindet, durch sein Emporsteigen unter sich einen luftverdünnten Raum bildet, so dafs der äufsere Luftdruck die Flüssigkeit zwingt in das Saugrohr aufzusteigen, worauf dann dieselbe, nachdem sie den Boden des Embolus erreicht hat, durch ein im unteren Theile des Saugrohrs befindliches Ventil abgeschnitten, und durch den herabgedrückten Kolben gezwungen wird, gleichfalls in das seitwärts befindliche Rohr auszuweichen. Die vollständige Untersuchung beider gehört in die praktische Mechanik, wird insbesondere zur Hydraulik oder Hydrodynamik gerechnet, und da kein eigenthümliches, noch weniger aber ein streitiges allgemeines Naturgesetz dabei zu erörtern ist, so werde ich mich hier begnügen, nur das Wesentlichste der Sache vorzutragen.

Das Wesen der *Druckpumpe* besteht also darin, dafs Wasser, Salzsoole oder eine sonstige Flüssigkeit durch den Druck eines mit keinem Ventile versehenen Embolus in die Höhe getrieben wird. Im Allgemeinen gehören daher zu derselben eine Röhre, welche sich mit Wasser füllt, nebst einem Ventile, wodurch demselben der Rückgang abgeschnitten wird, ein einfacher Embolus an einer Stange, welcher auf das Wasser drückt, und aus einer seitwärts angebrachten Röhre, in welche die Flüssigkeit durch den Druck gezwungen entweicht, und vermittelst eines zweiten Ventiles gleichfalls gehindert wird, wieder zurück zu fliefsen. Die zwei angegebenen Arten haben dann im Allgemeinen folgende Einrichtung. Die eine Art ist, wenn sich der Embolus a unter dem Spiegel der zu fördernden Flüssigkeit befindet, welche demnach beim Aufsteigen desselben den Raum unter ihm nach hydrostatischen Gesetzen füllt, durch das Ventil α am Zurücklaufen gehindert wird, und somit beim Niedergehen des Embolus in die Steigröhre c c entweichen mufs, in welcher ihr das Ventil β den Rückweg abschnei-

Fig. 186.

det. Es ist klar, dafs eine solche auch im luftleeren Raume gebraucht werden könnte. Wenn dagegen der Embolus bei seinem niedrigsten Stande nicht unter den Spiegel des Wassers herabgeht, so hat das Rohr der Druckpumpe noch eine Verlängerung O P, in welcher das Wasser durch den Druck der atmosphärischen Luft hinaufgetrieben wird. Bewegt sich nämlich der Kolben a aufwärts, so entsteht zwischen ihm und dem Ventile α ein luftverdünnter Raum, welchen das durch das Ventil eindringende Wasser ausfüllt, beim Niedergehen des Embolus aber entweicht die dadurch comprimirte Luft durch das Ventil β, bis nach wiederholten Kolbenzügen die ganze Röhre O P mit Wasser angefüllt ist, und dann die weitere Wirkungsart der Pumpe jener ersteren gleicht. Es versteht sich dabei von selbst, dafs das Rohr O P nicht mehr als 32 F. in lothrechter Höhe halten darf, weil sonst der Luftdruck das Wasser nicht bis unter den Embolus zu heben vermag, mithin ein luftleerer Raum entstehen, und die Röhre O P einem Wasserbarometer gleichen würde; indefs wird man dasselbe in der Ausübung nie von dieser ganzen Höhe verfertigen dürfen, indem ein absolut luftdichtes Schliefsen der Ventile nicht erwartet werden darf, aufserdem auch die zu sehr verdünnte Luft das Ventil β nicht mehr zu öffnen und durch dasselbe zu entweichen im Stande seyn würde. Es läfst sich daher annehmen, dafs 20 Par. F. wohl die gröfste lothrechte Höhe seyn mag, welche dem Rohre O P vom Wasserspiegel an bis zum obersten Stande des Embolus gegeben werden darf, wenn man auf einen sicheren Gang der Pumpe rechnen will. Uebrigens kann das Rohr O P schräg oder horizontal fortlaufend in gröfsere Entfernung fortgeführt werden, wie dann auch die Zuleitungsschläuche der Feuerspritzen die Stelle desselben vertreten, auch ist es nicht nothwendig, obgleich wegen des Schliefsens der Ventile sicherer, dafs das untere Ventil α sich am Boden des Rohres O P oder überhaupt unter Wasser befinde.

Fig. 187.

Bei der einfachen Förderung des Wassers aus der Tiefe bedient man sich der Druckpumpen nicht häufig, noch weniger aber der Saug- und Druckpumpen, weil hierbei der ganze Druck des Embolus gegen das untere Rohr gerichtet ist, und die feste Stellung desselben durch den zur Bewegung des Kolbens erforderlichen Mechanismus leichter wankend wird. Auf allen Fall

darf aber die Kolbenstange nicht zu lang seyn, weil sie sonst eine unmäfsige Dicke haben müfste, um der unvermeidlichen Biegung nicht ausgesetzt zu seyn. Am meisten wendet man die Druckwerke in denjenigen Fällen an, wo es darauf ankommt, Flüssigkeiten durch einen in der Nähe ihres Spiegels mit Bequemlichkeit zu erhaltenden Mechanismus zu einer grofsen und oft sehr bedeutenden Höhe zu fördern, z. B. bei Wasserkünsten u. dgl.; um das Wasser in ein Reservoir zu heben, aus welchem es in Röhren wieder abfliefst, und hierdurch einen hinlänglichen Fall (die erforderliche Fallgeschwindigkeit) erhält, um aus den Ausgufsröhren bis zu der verlangten Höhe zu springen. Man kann indefs durch eine gehörige Vorrichtung diese vorgängige Förderung in ein höheres Reservoir entbehren, wenn das Wasser mit dem erforderlichen Drucke in horizontalen Röhren stark gedrückt, und hierdurch zum Aufspringen aus den Ausgufsröhren am Ende derselben gezwungen wird, wie dieses bei einigen Springbrunnen und namentlich bei den Feuerspritzen der Fall ist, welche ganz eigentlich zu den gemeinsten Druckwerken gehören [1]. Wenn übrigens das Wasser durch ein Druckwerk aus nicht zu grofser Tiefe gefördert werden soll, so ist die Verbindung eines Saugwerkes mit demselben in so fern vortheilhaft, als man den Niedergang des Kolbens durch ein Gewicht befördern, und dieses dann durch ein Gegengewicht balanciren kann, welches wiederum das Heben des Wassers in dem Saugrohre O P beim Aufsteigen des Embolus bewirkt. Sollte z. B. das Wasser 40 F. hoch gehoben werden, so wäre nur nöthig, dasselbe 20 F. hoch zu drücken und 20 F. hoch durch Saugen zu fördern. Indem es ganz gleich ist, ob man eine Wassersäule von einer gegebenen Basis und 20 F. Höhe anhebt, oder durch das Aufziehen eines Embolus ein Vacuum hervorbringt, in welchem eine Wassersäule von gleicher Basis und Höhe durch den äufseren Luftdruck emporgehoben wird, die Richtungen der Bewegung des Kolbens aber, wodurch das Wasser in die Höhe gedrückt und durch welche es durch Saugen emporgehoben wird, einander entgegengesetzt sind, so hat man bei jeder Bewegung des Embolus nur eine

1 S. *Feuerspritze.*

Wassersäule von 20 F. zu wältigen, beide Bewegungen aber sind, rücksichtlich des erforderlichen Kraftaufwandes, einander gleich, und man vermeidet den leeren Rückgang des Kolbens. Bei einer solchen Pumpe ist es aber erforderlich, daſs der Raum zwischen dem Ventile β und dem Embolus so klein als möglich sey, weil sonst vorzüglich bei nicht hohem Steigen des Embolus die Luftverdünnung in jenem Raume nicht so stark wird, als erforderlich ist, um das Wasser zu der verlangten Höhe empor zu saugen [1].

Die gemeinen Druckpumpen waren schon den Alten bekannt, und es geht aus der Beschreibung beim *Vitruv* [2] hervor, daſs schon CTESIBIUS 150 Jahre v. Ch. Geb. solche erbauete. Seitdem sind sie auf mannigfaltige Weise abgeändert, ohne daſs man bei der Einfachheit ihres Principes im Wesentlichen von der ursprünglichen Einrichtung abweichen konnte. Vorzüglich pflegt man zwei oder auch mehrere Druckwerke mit einander zu verbinden, theils um mehr Wasser zu erhalten, ohne den einzelnen Stiefeln eine unförmliche Weite zu geben, theils um die bewegende Kraft stets gleichmäſsig zu beschäftigen, indem man z. B. bei zwei Druckwerken den einen Embolus aufsteigen läſst, während der andere niedergeht. Das geförderte Wasser wird dann in ein gemeinschaftliches Gefäſs vereinigt. Bei der groſsen Maschine zu *Marly* z. B. dienen acht Pumpen zur Füllung des Reservoirs, und heben in 24 Stunden mehr als 800000 Litres Wasser zu einer Höhe von 160 Metres [3]. Man hat indeſs auch einzelnen Druckpumpen die Einrichtung gegeben, daſs sie sowohl beim Aufsteigen als auch beim Herabgehen des Embolus das Wasser heben. Hierzu ist erforderlich, daſs die Kolbenstange sich in einer wasserdichten, und wenn die Pumpe zugleich als Saugwerk wirkt, in einer luftdichten Stopfbüchse auf- Fig. 188. bewege. Geht dann der Embolus in die Höhe, so öffnen sich die Ventile α, α′ während die andern β, β′ sich schlieſsen, das im Stiefel befindliche Wasser muſs daher in das Rohr m entweichen, und wird in demselben emporgetrieben; wird dage-

1 Borgnis Traité complet de Mécanique appliquée aux Arts. Machines hydrauliques. Par. 1819. 4. p. 18 ff.

2 De Archit. L. X. c. XII.

3 Borgnis Théorie de la Mécanique usuelle. Par. 1821. 4. p. 221.

gen der Embolus herabgedrückt, so ist das Spiel der Ventile umgekehrt, es öffnen sich β, β', dagegen werden α und α' geschlossen, und das Wasser steigt in der Röhre n empor. Beide Steigröhren vereinigen sich weiter oben in eine gemeinschaftliche Röhre, aus deren oberem Ende das Wasser ohne Unterbrechung ausströmen würde, wenn nicht im Momente des wechselnden Kolbenspiels ein augenblicklicher Stillstand einträte. Dafs übrigens durch diese Einrichtung der Nutzeffect vermehrt werden sollte, ist nicht der Fall; man wird zwar die doppelte Menge Wassers in gleicher Zeit zu heben vermögen, als mit der einfachen Pumpe, allein hierzu auch einen doppelten Kraftaufwand bedürfen [1].

Bei weitem die meisten Druckpumpen haben einen stehenden Stiefel; indefs kann man ihnen auch einen liegenden geben, und LANGSDORF [2] räumt diesen im Allgemeinen den Vorzug ein. Die Construction derselben ist sehr einfach, wie sich aus der Darstellung derselben zeigt, wenn man zugleich eine doppelt wirkende Druckpumpe mit doppelten Saugröhren verbunden annimmt. Es ist nämlich hierbei gleichfalls a b die Stopfbüchse, worin die Kolbenstange sich luftdicht bewegt, die beiden Saugröhren sind V und W; die beiden zugehörigen Steigröhren aber Q und R. In der Lage, welche die Zeichnung vorstellt, ist der Embolus e das äufserste Ende seines Hinganges erreicht, während dessen das Ventil β' geschlossen war, das Wasser aber gezwungen wurde, durch das geöffnete Ventil α' in dem Steigrohre R aufzusteigen. Beim demnächst folgenden Rückgange des Embolus schliefst sich durch sein eigenes Gewicht sowohl, als auch durch den Druck des Wassers das offene Ventil α' und α, es öffnen sich dagegen β' und β; durch ersteres wird der Pumpenstiefel hinter dem Embolus wieder mit Wasser gefüllt, dasjenige Wasser aber, welches vor dem Embolus ist, kann nur durch das Ventil β in das Steigrohr Q entweichen, und mufs in demselben aufsteigen. Dafs man oberhalb beide Steig-

Fig. 189.

1 Vergl. Robison System of Mechanical Philosophy. Edinb. 1822. Vol. 3. II. 662.

2 Lehrbuch der Hydraulik mit beständiger Rücksicht auf die Erfahrung. Altenburg 1794. II Vol. 4. I. 416.

rohre gegen einander krümmen und in eins vereinigen könne, versteht sich von selbst.

Unter den verschiedenen Abänderungen der Druckpumpe verdient insbesondere diejenige eine nähere Erwähnung, vermittelst deren eine bedeutende Menge Wassers mit einem geringen Aufwande von Kraft zu einer nicht grofsen Höhe gehoben werden kann [1]. Die vortheilhafte Anwendung dieser Maschine beruhet insbesondere darauf, dafs der Embolus sich ohne alle Reibung bewegt, und man kann dieselbe sowohl aus einem einzigen Stiefel bestehend, als aus zwei mit einander verbundenen construiren, welche letztere Einrichtung noch zweckmäfsiger, und hier dargestellt ist. Sie besteht aus zwei cylindrischen Röhren A B, A' B', eine jede mit einer etwas engeren Steigröhre a b, a' b' verbunden, und mit den Ventilen α, β; α', β' versehen. In den ersteren beiden weiten Röhren gehen abwechselnd die Cylinder m n; m' n' auf und ab, welche genau die gleiche Höhe haben, als die Röhren selbst, und bei ihrer Bewegung nur bis in die Mitte derselben gehoben werden. Die Cylinder füllen den inneren Raum der Röhren in so weit völlig aus, dafs sie nur so viel Spielraum zwischen sich lassen, als zur freien Bewegung des neben ihnen emporgedrückten Wassers erforderlich ist. Die Figur zeigt beide Cylinder im Zustande des Gleichgewichts, oder in gleicher Höhe, und gleich tief in das Wasser der Stiefel eingetaucht. Wird einer derselben niedergedrückt, so sinkt er eben so tief, als der andere steigt, und indem er beim Niedergange das unter ihm befindliche Wasser niederdrückt, und dadurch zwingt, durch das Ventil β der Steigröhre a b aufzusteigen, während demselben durch das Ventil α der Rückgang abgeschnitten ist, so verstattet jener dagegen durch seine Erhebung dem umgebenden Wasser durch das Ventil α' vermöge des hydrostatischen Druckes in den durch ihn verlassenen Raum zu dringen, während dem in der Steigröhre a b befindlichen Wasser der Rückgang durch das Ventil abgeschlossen wird. Das in beiden Steigröhren gehobene Wasser wird in die gemeinschaftliche Rinne g g vereinigt, und fliefst

Fig. 190.

---

1 Sie ist, so viel mir bekannt, zuerst beschrieben durch Robison in der Encyclop. Brit. Art. Pumps. Waterworks. Vergl. Thom. Young Lectures on nat. Phil. Lond. 1807. II Vol. 4. I. 331.

aus derselben ab. Beide Cylinder, welche durch ihr eigenes Gewicht herabsinken, hängen an Ketten über die Bogentheile des Balanciers p q, welcher wie ein Waagebalken auf den in Pfannen ruhenden Schneiden eines Zapfens leicht beweglich ist. Auf diesem Balanciere selbst, oder besser auf einem Brette, welches an den, von dem Balanciere herabgehenden, beweglichen Stangen r, s befestigt ist, geht ein Mann hin und her, oder es wird zur Vermeidung des lästigen Umkehrens an beiden Seiten dieser Stangen ein Brett befestigt, und beide werden an den Enden mit einander verbunden, so dafs er auf dem einen hin und auf dem andern zurückgeht, und durch sein Gewicht den einen Cylinder hebt, den andern niederdrückt. Es verdient hierbei noch bemerkt zu werden, dafs in dem Augenblicke, wenn der Mensch sich am äufsersten Ende befindet, der niedergedrückte Cylinder durch den hydrostatischen Druck des Wassers am stärksten gehoben, der andere aber durch sein ganzes Gewicht am stärksten herabgezogen wird. Dort ist also der erforderliche Kraftaufwand am stärksten, nimmt ab, so wie der Mensch sich nach der Mitte hin bewegt, und verschwindet, wenn er sich genau in der Mitte befindet, so dafs also das Spiel der Maschine stets regelmäfsig bleibt. Nach Robison [1] hob ein alter und schwacher, nur 110 ℔ wiegender, zur Ausübung eines gröfseren Druckes mit 30 ℔ auf das bequemste belasteter Mann [illegible] Kub. F. oder 580 ℔ Wasser 11,5 F. hoch in einer Minute 10 Stunden des Tages ohne grofse Ermüdung, ein junger Mann aber, 135 ℔ schwer, gleichfalls mit 30 ℔ Gewicht bequem belastet, 9,25 Kub. F. oder 766 ℔ Wasser zu der nämlichen Höhe und eine gleiche Zeit arbeitend, welches der gröfste Effect ist, den nach irgend einer Angabe ein Arbeiter geleistet hat. Die Pumpe selbst ist erfunden durch einen gemeinen und ganz ungebildeten Mann, aber von ausgezeichneten Anlagen zur Mechanik.

Die Kraft, womit in gewönlichen Pumpen der Embolus niedergedrückt werden mufs, die Reibung nicht gerechnet, ist nach hydrostatischen Gesetzen einer Wassersäule gleich, welche die Fläche des Kolbens zur Basis und die Länge der Wassera-

---

1 a. a. O. Vergl. System of Mech. Phil. II. 670.

der in der Steigröhre vom Boden des Embolus an bis an das Niveau des gehobenen Wassers zur Höhe hat. Steht dann der Embolus und das untere Ventil unter Wasser, also beim einfachen Druckwerke, so geht von dieser zu bewegenden Last so viel ab, als der Druck des Wassers aufserhalb der Pumpe, die Höhe desselben über dem Boden des Embolus allein in Rechnung genommen, beträgt, oder der Druck ist einer Wassersäule gleich, welche die Fläche des Embolus zur Basis und den Abstand des unteren Wasserspiegels von oberen zur Höhe hat. Wäre z. B. der Flächeninhalt des Embolus = 3 Quadrat-Zolle; die Höhe der gehobenen Wassersäule, auf die eben angegebene Weise gemessen (ohne Rücksicht auf ihre, hierbei bekanntlich nicht in Betrachtung kommende Dicke[1]) = 40 F.; das Gewicht eines Par. Kub. F. Wasser = 70 ℔, so würde die zum Heben erforderliche Kraft ohne Rücksicht auf die Reibung $= \frac{3}{144} \times 70 \times 40 =$ 58,33 . . . ℔ betragen, welches Gewicht dann bloſs beim Niedergange des Embolus zu überwinden wäre. Bestände die Pumpe dagegen zugleich aus einem Saugwerke und einem Druckwerke, und wäre die durch Saugen zu hebende Wassersäule an Fläche und Höhe der durch Druck empor zu treibenden gleich, wie dieses rücksichtlich der Fläche nicht füglich anders seyn kann, so würde die angegebene Kraft auf jede der beiden Bewegungen des Kolbens gleichmäſsig vertheilt seyn, widrigenfalls aber, bei ungleichen Höhen der Wassersäulen im geraden Verhältnisse der letzteren stehen. Es ist daher aus dem schon oben angegebenen Grunde vortheilhaft, wenn diese Art Pumpen so eingerichtet werden, daſs sich der Embolus in der Mitte der zu hebenden Wassersäule befindet, wenn man nicht darauf Rücksicht nimmt, daſs beim Herabgehen des Kolbens das Gewicht desselben und seiner Stange zugleich mit herabdrückt, beim Hinaufgehen zugleich mit gehoben werden muſs[2]. Diese Ungleichheit fällt bei den Druckwerken mit horizontalem Stiefel weg, und sie sind daher unter geeigneten Umständen allerdings vortheilhaft. Nach der Erfahrung ergiebt sich ferner, daſs der

1 S. *Hydrostatik.*

2 Borgnis Théorie de la Mécanique usuelle. Par. 1821. 4. p. 220.

Nutzeffect der besten Pumpen um $\frac{1}{6}$ vermindert wird durch den Verlust an Wasser, welches die Kolben und Ventile vorbeilassen, und durch die Reibung; wird aber Wasser vermittelst Pumpen und durch die Kraft oberschlächtiger Räder gehoben, so wird man bei der vollkommensten Einrichtung kaum 0,75 so viel Wasser zu einer dem bewegenden Wasser gleichen Höhe fördern können, bei Schaufelrädern aber nur 0,25 desselben [1].

Eine Unbequemlichkeit der Druckwerke besteht darin, daſs das Heben der Flüssigkeiten aufhört, und somit zugleich das Ausflieſsen derselben aus der Ausguſsröhre, während der aufwärts gehenden Bewegung des Embolus. Um dieses zu vermeiden, pflegt man mehrere Pumpen mit einander zu verbinden, und ihren Gang so zu reguliren, daſs zu jeder Zeit mindestens *einer* der Kolben mit seiner vollen Kraft gegen das Wasser drückt. Aus eben dieser Ursache pflegt man auch die Druckwerke so einzurichten, wie oben angegeben ist, nämlich daſs der Embolus bei jeder seiner Bewegung das Wasser in die Höhe drückt. Indeſs tritt bei einem einzelnen doppelt wirkenden, oder bei zwei abwechselnd auf und nieder bewegten Kolben doch beim Wechsel der Bewegung allezeit ein momentaner Stillstand ein. Will man daher auch diesen vermeiden, und ein stets regelmäſsiges Ausströmen der Flüssigkeit erreichen, so setzt man das Steigrohr mit einem *Windkessel* (reservoir d'air; *air vessel, air barrel*) in Verbindung, wie dieses namentlich bei den Feuerspritzen und allen denjenigen Druckwerken geschieht, durch welche ein anhaltend aufspringender Wasserstrahl erzeugt werden soll, z. B. bei den Springbrunnen, bei denen das Wasser nicht vorher auf eine Höhe gefördert wird, von welcher nachher herabfallend es die Fontaine bildet. Die Windkessel müssen im Allgemeinen so angebracht seyn, daſs sie beim anfangenden Spiele der Pumpe ganz mit Luft gefüllt sind, welche durch das comprimirte Wasser nicht herausgetrieben, sondern in einen kleineren Raum zusammengepreſst wird. Sie müssen daher mit der Steigröhre verbunden und aufwärts gerichtet seyn, so daſs das comprimirte Wasser die in ihnen enthaltene Luft so viel mehr zusammendrückt, je gröſser die Ge-

1 Borgnis a. a. O. p. 222.

walt des Druckes ist, welcher auf dasselbe wirkt, wodurch der Windkessel selbst zum gröfsten Theile mit Wasser gefüllt wird. Während der Zeit, welche der Embolus dann zum Rückgehen gebraucht, wenn die Maschine nur mit einem einzigen Stiefel versehen ist, oder während des Wechsels der Kolben mehrerer Pumpen drückt die Luft nach dem Mariotteschen Gesetze mit einer der erhaltenen Compression direct proportionalen Kraft gegen das Wasser, und wird also die Fortsetzung der Bewegung desselben bewirken, bis der Embolus aufs Neue seinen Druck beginnt. Hieraus ergeben sich indefs folgende Regeln rücksichtlich der Beschaffenheit des Windkessels: 1. derselbe muſs von hinlänglicher Weite seyn, um neben der comprimirten Luft noch eine so groſse Menge Wassers zu fassen, als erforderlich ist, den Ausfluſs während der Zeit zu unterhalten, als die Kolben nicht drücken. Hierbei ist zu berücksichtigen, daſs die in einen engeren Raum comprimirte Luft bei ihrer Ausdehnung ihrem vermehrten Volumen proportional an Druckkraft verliert, mithin muſs der Gesammtinhalt des Windkessels so groſs seyn, daſs das Volumen des während des Stillstandes der Kolben aus demselben gepreſsten Wassers einen nicht zu groſsen aliquoten Theil der Gesammtmasse der comprimirten Luft beträgt. Würde z. B. die comprimirte Luft während des Stillstandes des Kolben Zeit haben, sich um 0,1 ihres Volumens auszudehnen, so würde sie am Ende dieser Zeit auch 0,1 an Druckkraft verloren haben, und die Sprunghöhe des Wasserstrahles daher nahe um eine gleiche Gröſse vermindert werden. Es könnte in dieser Hinsicht bei einem erforderlichen sehr starken Drucke und verlangter stets möglichst gleicher Höhe des Wasserstrahles, vortheilhaft seyn, über dem Windkessel eine Luftcompressionspumpe anzubringen, und vermittelst derselben das absolute Quantum der Luft im Windkessel zu vermehren, wenn nicht das hierbei erforderliche Ventil das luftdichte Schlieſsen des Apparates unsicherer machte. Auf allen Fall würde es am zweckmäſsigsten seyn, wenn man eine solche Vorrichtung gebrauchen wollte, die Mündung der Compressionspumpe seitwärts am Windkessel, etwa bei o oder unterhalb v anzubringen, weil die Ventile weit leichter wasserdicht als luftdicht schlieſsen, und es ohne Nachtheil wäre, wenn der Stiefel der Compressionspumpe sich später mit Wasser füllte, vorausgesetzt, daſs

Fig. 191 und 192.

man die Kolbenstange derselben festhalten könnte, um das Heben des Embolus über die zum Einsaugen der Luft bestimmte Oeffnung, und das Auslaufen des eingedrungenen Wassers aus derselben zu vermeiden. Die Vermehrung der Gröſse des Windkessels ist indeſs in so fern unbequem, als zugleich 2. derselbe eine bedeutende Stärke haben muſs, um dem starken Drucke des Wassers und der Luft zu widerstehen. Man verfertigt denselben daher in der Regel aus geschlagenem Kupfer, dessen Dicke 0,5 bis 1 und selbst mehrere Linien beträgt, und giebt ihm zur Ausübung eines stärkeren Widerstandes eine gewölbte Form, damit das Metall mehr durch Ueberwindung seiner absoluten Festigkeit zerrissen, als nach überwundener relativer Festigkeit seitwärts gedrückt werde. Um die Elemente der hierbei erforderlichen Berechnung anzugeben, sey der Inhalt eines solchen Windkessels = 0,25 Kub. F. oder 432 Kub. Z.; die erforderliche Höhe des Wasserstrahles sey derjenigen gleich, welche durch den Druck einer Wassersäule von 200 F. lothrechter Höhe hervorgebracht werden würde [1], so ist die Compression der Luft $= \frac{200}{32} = 6{,}25$ fach, oder ihr Druck beträgt 6,25 Atmosphären, und die Verminderung ihres Volumens im Windkessel ist dieser Vermehrung ihrer Elasticität direct proportional. Die comprimirte Luft würde hiernach also nur $\frac{432}{6{,}25} = 69{,}1$ oder nahe 70 Kub. Z. betragen, gegen einen Quadratzoll Fläche mit 100,54 .. ℔ drücken [2], und durch den Ausfluſs von 7 Kub. Z. Wasser 0,1 ihrer Druckkraft verlieren. Aus der Bestimmung der absoluten Festigkeit des Kupfers [3] ergiebt sich dann, daſs die Dicke einer Linie dieses Metalles einem solchen Drucke allerdings Widerstand zu leisten vermag, wenn es ohne etwanige Fehlstellen ist.

Der Nutzen der Windkessel zeigt sich indeſs auch ohne das Erforderniſs eines anhaltend springenden Wasserstrahls in so fern, als durch denselben das Wasser in seiner einmal angenom-

---

1 Vergl. *Springbrunnen.*

2 Vergl. *Aërostatik.* Th. I. p. 262.

3 Vergl. *Cohäsion.*

menen Bewegung erhalten wird, anstatt dafs sonst nach eingetretenem Stillstande die Trägheit der ganzen, im Steigrohre enthaltenen Wassersäule überwunden werden müfste, welches einen nicht geringen Aufwand von Kraft erfordern würde [1].

Die *Windkessel* können von sehr verschiedener Form, Lage, Gröfse und Beschaffenheit seyn; im Allgemeinen aber giebt es zwei Arten derselben. Die eine Art fafst zugleich die Steigröhre T in sich, welche in derselben so weit herabgeht, dafs sie das Oeffnen des Ventiles β nicht hindert. Letzteres findet bei d an einem durch den Windkessel gezogenen Stabe, oder besser an einem hinter dem Ventile befestigten und gehörig gebogenen Stifte einen Widerstand, welcher es hindert ganz rückwärts zu schlagen, in welchem Falle es sich nicht wieder schliefsen würde. Die untere trompetenförmige Erweiterung des Steigrohres dient dazu, dem einströmenden Wasser einen leichteren Zugang zu verstatten, auch darf das Hindernifs bei d der Mündung des Steigrohrs nicht so sehr genähert seyn, dafs das freie Einströmen dadurch gehindert wird. Das Steigrohr ist entweder oben bei a b festgelöthet, welches in so fern besser ist, als dieses vollkommene Sicherheit gegen das Ausströmen der Luft giebt; oder es ist vermittelst einer Scheibe zwischenliegenden Leders luftdicht eingeschroben, welches den Vortheil gewährt, dafs man dasselbe herausnehmen kann. In beiden Fällen kann man dem Windkessel auch die Einrichtung geben, dafs er sich unten beim Ventile abschrauben läfst, wodurch ein Zerlegen der Maschine und Ausbessern der einzelnen Theile gestattet wird. Die zweite Art der Windkessel wird seitwärts am Steigrohre T angebracht, das Wasser dringt in dasselbe, comprimirt die Luft, und wird durch diese wieder empor gedrückt. Diese Art hat den Vorzug, dafs sie wegen ihrer überall gekrümmten Fläche einen gröfseren Druck aushält, auch nirgend Fugen hat, durch welche ein Theil Luft entweichen könnte; sie ist aber in so fern nachtheiliger, als das Wasser gezwungen wird, sich seitwärts zu bewegen, wodurch ein Theil der bewegenden Kraft verloren wird. Zum Ueberflufs möge noch hinzugesetzt werden, dafs in beiden das Wasser anfänglich bis o p und v v steigt, ehe die

Fig. 191.

Fig. 192.

---

1 Vergl. Robison System of Mech. Phil. II. 657.

Compression der Luft beginnt, dann bis w w zu einer der Luftcompression proportionalen Höhe steigt, und beim jedesmaligen Wechsel der Bewegung des Kolbens um einen der ausgegossenen Wassermenge proportionalen Theil herabsinkt.

Ohngeachtet übrigens der Windkessel bewirkt, daſs der Wasserstrahl ununterbrochen ausströmt, so folgt daraus doch keineswegs, daſs unter übrigens gleichen Bedingungen eine gröſsere Menge Wassers durch ein Druckwerk mit einem Windkessel in gleicher Zeit gefördert werde, als durch ein anderes ohne denselben. Vielmehr könnte man aus der Theorie folgern, daſs diese Quantität in beiden Fällen gleich seyn müsse, wenn man annehmen dürfte, daſs bei einem Druckwerke ohne Windkessel die abwechselnd gröſseren und geringeren Ausfluſsmengen einander compensiren. Indeſs läſst es sich aus den vorhergehenden Betrachtungen erklären, daſs der Erfahrung nach die Druckwerke durch Anbringung eines Windkessels unter übrigens gleichen Bedingungen in gleichen Zeiten eine gröſsere Menge Wassers zu fördern fähig werden [1]

Der Bau der Druckpumpen ist im allgemeinen sehr einfach, kann aber nach den verschiedenen Bestimmungen derselben auf vielfache Weise abgeändert werden. Eine der vorzüglichsten Regeln dabei ist, daſs keine der Röhren, auch die Oeffnungen der Ventile nicht, zu enge sind, weil sonst das Wasser hierin zum Nachtheile der bewegenden Kraft eine gröſsere Geschwindigkeit erhalten muſs, als erforderlich ist. Auſserdem ist noch dahin zu sehen, daſs das eigene Gewicht des Embolus und der Stange ohne Beschwerde der bewegenden Kraft bleibe, und wo möglich zur Förderung des Wassers benutzt werde. Nothwendig ist ferner eine genaue und glatte Bohrung der Röhren, damit das Wasser bei seiner Bewegung kein Hinderniſs finde, insbesondere aber der Embolus überall genau anschlieſsen könne und nicht zu viel Reibung erleide. Hauptsächlich ist dabei dann zu bemerken, daſs die Emboli gut gegliedert sind, und genau passen, um ohne übermäſsige Reibung kein Wasser neben sich vorbeizulassen. Man hat der Vorschläge zur Construction der Letz-

---

1 James Smith Panorama of Science and Art. 2d ed. Lond. 1823. II Vol. 8. II. 116.

teren gar viele, von denen hier bloſs die brauchbarsten erwähnt werden mögen. Die gemeinsten und im Ganzen zweckmäſsigsten bestehen aus über einander gelegten und zwischen zwei Metallplatten festgeschrobenen Scheiben Sohlenleder. Zu diesem Ende wird an der Kolbenstange a die metallene Scheibe bb befestigt und auf das Ende der Kolbenstange die zweite metallene Scheibe cc gesteckt, beide etwas kleiner, als die Bohrung der Röhre. Zwischen diese werden die in der Mitte durchlöcherten, vorher in Fett gesottenen, Scheiben Sohlenleder $\alpha\beta$, $\alpha\beta$.... geschoben, durch die untere Scheibe cc festgedrückt und vermittelst versenkter Schrauben γ, δ... zusammen gepreſst, und endlich der Embolus auf der Drehbank genau abgedrehet. Noch wohl vorzüglicher dürften die in England üblichen Emboli seyn, welche bei einfachen Druckpumpen aus einem auf das untere Ende der Kolbenstange gesteckten Stücke Korkholz bestehen, über welches von oben herab eine lederne Kappe geschoben wird. Bei den Saug- und Druckpumpen ist diese Kappe doppelt. Es ist nämlich ab der etwas hervorstehende Rand der aufwärtsgehenden, $\alpha\beta$ der herabwärtsgehenden Kappe, cd ein dazwischen liegender metallener Ring; die Füllungen m und n können von Leder, Werg oder Korkholz gemacht werden. Der bei $\alpha\beta$ vorstehende Rand der Kappe gewährt den Vortheil, daſs selbst bei nicht gedrängtem Gange des Embolus das unter ihm befindliche Wasser bei seiner Compression ihn aus einander treibt, und dadurch sich selbst den Zugang zu dem Raume neben dem Embolus versperret, und eben so wird beim Aufsteigen des Kolbens der Rand ab sich ausbreiten, der Luft den Raum neben demselben hin versperren, und das Aufsaugen des Wassers möglich machen [1].

Fig. 193.

Fig. 194.

Weil indeſs diese Emboli durch das Wasser allmälig weich werden und sich abnutzen, Reparaturen aber einen unnöthigen und zuweilen gefährlichen Stillstand der Maschinen verursachen, so bestehen die groſsen Kolben der Pumpen in den englischen Bergwerken, welche durch Dampfmaschinen bewegt werden, bloſs aus Metall, und werden in die genau gebohrten Stiefel so eingepaſst, daſs sie durch ihr eigenes Gewicht gerade

1 Robison a. a. O. II. 646.

nicht herabsinken. Man vernachlässigt hierbei das wenige Wasser, welches neben dem Embolus entweicht, wegen des grofsen Vorzugs, dafs sie keiner oder mindestens sehr selten einer Reparatur bedürfen [1].

Die Ventile der Druckpumpen bedürfen keine besondere Erwähnung. Die meisten derselben und im Ganzen die brauchbarsten sind Klappenventile, wie sie die Zeichnungen der Druckwerke angeben, und bestehen entweder aus einem Stücke Holz mit untergelegtem Leder, oder besser aus einer Scheibe Metall, welche selbst eben geschliffen auf einem gleichfalls eben geschliffenen Boden aufliegen, in einem Charniere leicht beweglich sind, und sich so weit wie möglich öffnen, um dem eindringenden Wasser den geringsten Widerstand entgegenzusetzen.

Ausführliche Beschreibungen und Abbildungen der mancherlei Druckwerke findet man bei Leupold [2], Belidor [3] am schönsten und vollständigsten in den grofsen englischen Encyklopädien, in den angezeigten Werken von Langsdorf, Borgnis u. a.

Unter die gröfsten und berühmtesten, aus Druckwerken zusammengesetzten Maschinen gehört ohne Zweifel die zu Marly, welche Leupold, Belidor und Weidler [4] beschrieben haben. Ludwig XIV. liefs sie erbauen, um die Springbrunnen der Gärten zu Versailles, Marly und Trianon mit Wasser aus der Seine zu versorgen. An ihr haben 1800 Menschen sieben Jahre lang gearbeitet, 1700000 ℔ Kupfer, eben so viel Blei, zwanzigmal so viel Eisen und hundertmal so viel Holz darin verbauet, und die Kosten überstiegen acht Millionen Livres. Der Baumeister der Maschine war Rannequin aus Lüttich, welcher dem Minister Colbert von einem Edelmanne daselbst, Namens De Ville vorgeschlagen war, und in gewisser Hinsicht unter dessen Aufsicht arbeitete, weswegen De Ville von einigen als Erfinder des Mechanismus genannt wird. Zu ihr gehören 14 unterschlächtige Räder, welche das Wasser in einen 500 F. über dem

1 Robison a. a. O. p. 669.

2 Theatrum machin. hydraul. I. 108; II. 110.

3 Architectura hydraulica Liv. III. §. 870.

4 Tract. de machinis hydraulicis toto terrarum orbe maximis, Marliensi et Londinensi. Viteb. 1733. 4.

Spiegel des Flusses und 8684 F. entfernt liegenden Behälter heben. Die ganze Strecke dahin ist in drei Absätze getheilt, in welche das Wasser ausgegossen, und aus dem ersten und zweiten durch neue Druckwerke vermittelst Feldgestänge abermals gehoben und dem letzten Reservoire zugeführt wird. Vier Räder treiben die ersten 64 Druckwerke, welche das Wasser in die Behälter des ersten Absatzes fördern, die übrigen 10 Räder treiben 20 Feldgestänge, von denen 7 bis in den kleinsten unteren Behälter gehen, und daselbst durch 49 Druckwerke das Wasser in den kleinsten oberen Behälter des zweiten Absatzes treiben; die übrigen 13 Feldgestänge gehen durch den gröfseren unteren Behälter bis an den gröfseren oberen fort, setzen unten 40 Druckwerke in Bewegung, die das Wasser in den gröfseren oberen Behälter bringen, und oben noch 82, die dasselbe endlich auf den eigentlichen Wasserthurm heben. So weitläufig übrigens diese Maschine ist, so haben doch die Berechnungen von Dan. Bernoulli [1] und Karsten [2] dargethan, dafs ihre Einrichtung keineswegs die vollkommenste ist, die sie seyn könnte. Die Zeit hat den gröfsten Theil derselben unbrauchbar gemacht.

Bekannt ist ferner ein grofses Druckwerk zu *Chaillot*, dessen kolossaler Stiefel zwei P. F. inneren Durchmesser hat, und worin der Embolus beim Aufsteigen sowohl als auch beim Niedergehen 6 P. F. durchläuft, der Windkessel hat 15 P. F. Höhe und 3 F. Durchmesser [3]. Ein gleichfalls merkwürdiges Druckwerk ist ferner dasjenige, welches die Wasserkünste zu Herrenhausen bei Hannover speiset, und sich insbesondere durch seinen sinnreichen Mechanismus auszeichnet, vermittelst dessen die um die Wellen der Räder gelegten Kränze zuerst die Kolbenstangen der Druckpumpen niederdrücken, dann eine Auslösung erhalten, und indem sie frei rückwärts gedrehet werden können, das Aufziehen des Embolus gestatten, bis eine Sperrung sie wieder an der Welle befestigt. Das Wasser wird unmittelbar in Röhren geprefst, welche in horizontaler Lage unter der

1 Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii. Argent. 1738. 4. Sect. IX. §. 27. p. 180.

2 Lehrbegriff der gesammten Mathematik. Th. V. Absch. 23 ff.

3 Borgnis Théorie de Méc. usuelle. p. 221.

le hinlaufend dasselbe bis zu den Ausgufsröhren der Fontai-
i führen [1].

Die gröfste senkrechte Druckhöhe ist durch diejenigen
ickpumpen erreicht, welche v. Reichenbach angelegt hat,
die Soole von Berchtesgaden nach Reichenhall zu leiten.
i Soolenhebungsmaschinen fördern die gesättigte Soole zu
r gemeinschaftlichen senkrechten Höhe von 1579 altbaier-
i Fuſs, also den baierschen Fuſs zu 129,38 Par. Lin. gerech-
, 1418 P. F.; die ganze Röhrenlänge beträgt 101796 B. F.
161 P. F.), und die eine Hauptsäulenmaschine hebt die Soole
ler unglaublichen senkrechten Höhe von 1218 B. F. (1094
P.) welches auf Wasser reducirt 1500 B. F. (1348 P. F.)
agen würde. Die Stiefel haben $13\frac{3}{4}$ und $11\frac{1}{4}$ Z. inneren
chmesser [2].

Eine vollständige Abhandlung über die Druckpumpen wür-
noch Untersuchungen erfordern über das Verhältnifs der
ft zur geförderten Wassermenge, die Geschwindigkeit der
egung des Wassers in den verschiedenen Theilen der Ma-
ne, die erforderliche relative Gröfse dieser letzteren, die
heilhafteste Weite und Oeffnung der Ventile u. dgl. m. In-
aber eine ausführliche Erörterung dieser verschiedenen Auf-
n hier zu weitläuftig seyn würde, und den gröſseren Wer-
über die Hydrodynamik überlassen bleiben muſs, so will
nur im Allgemeinen Folgendes bemerken.

Vor allen Dingen ist erforderlich, dafs die Oeffnungen der
tile so weit wie möglich gemacht werden, weil sonst das
durchströmende Wasser eine der Weite umgekehrt propor-
ale Geschwindigkeit auf Unkosten der bewegenden Kraft
hmen muſs, und eben diese Regel gilt auch hinsichtlich der
en Röhrenlänge, durch welche das comprimirte Wasser be-
t wird, in welcher hauptsächlich alle Verengerungen oder
erstand leistende Hervorragungen zu vermeiden sind. Uebri-
gewinnt die Construction der Druckwerke durch den Wind-
el, in welchen das Wasser zunächst aus dem Stiefel geprefst
len muſs, dessen Mündung daher nicht zu enge seyn darf,

---

1 Vergl. Poppe Encyclopädie des gesammten Maschinenwesens
0.

2 G. LIX. 206.

und indem seine Gröſse es gestattet, daſs die Luft in ihm eine allezeit nahe gleich starke Spannung besitze, so wird hierdurch der Druck gegen das Wasser auch eine stets nahe gleichbleibende Gröſse, mithin die Bewegung des Wassers anhaltend gleich schnell seyn, so daſs keine Ueberwindung seiner Trägheit nöthig wird.

Die Krümmungen, welche das Wasser auf seinem Wege durchlaufen muſs, sind allerdings ein unvermeidliches Hinderniſs seiner Bewegung, und erfordern daher eine Vermehrung der bewegenden Kraft. Man rechnet nach den Resultaten der Versuche, daſs durch eine genau rechtwinkliche Biegung eines Rohres ohne weitere Krümmung oder Rundung die Geschwindigkeit um $\frac{1}{18}$ vermindert wird, zu dessen Ueberwindung die erforderliche Druckkraft um $\frac{1}{9}$ vermehrt werden muſs. Die letztere wird am bequemsten durch das Gewicht einer Wassersäule von einer gegebenen Basis und Höhe (*head of water*) ausgedrückt. Soll bloſs die Trägheit des Wassers überwunden und dasselbe mit einer Geschwindigkeit $= v$ in einer Sexagesimalsecunde bewegt werden, so ist die hierzu erforderliche Druckkraft $k = \frac{v^2}{2g}$. Denkt man sich dann ein Wassergefäſs efgh, aus welchem das Wasser durch die Röhre hikl abflieſst, nennt die Fläche des inneren Querschnittes dieser Röhre $= A$; die der Ausfluſsöffnung $= B$, so ist die Geschwindigkeit des Wassers in der letzteren $= v \frac{A}{B}$. Bezeichnet man ferner durch b den Querschnitt des Wasserstrahles, welchen derselbe beim Ausflieſsen aus einer Röhre vom Querschnitt $= a$ aus einer Oeffnung $= B$ an derjenigen Stelle hat, wo er am meisten zusammengezogen ist, so daſs z. B. beim Ausflusse aus einer Oeffnung in einem dünnen Bleche $b = 0{,}62\,B$ ist[1], so beträgt die Wassersäule, oder die sie ersetzende Druckkraft, welche erforderlich ist, um demselben an dieser Stelle eine Bewegung $= v$ zu geben, eine Gröſse, welche durch die Formel $\frac{v^2 a^2}{2g\, b^2}$ bezeichnet werden kann. Wenn man aber das oben an-

Fig. 195.

1 Vergl. *Hydraulik*.

gegebene, aus der Biegung des Rohrs entstehende Hindernifs zu dem aus der Verengerung des Ventiles entstehenden hinzuaddirt, welches am bequemsten ist, also $c = b\left(1 + \frac{1}{18}\right)$ setzt, so erhält man statt der oben angegebenen Formel nunmehro $\frac{v^2 a^2}{2g\,c^2}$, welche Gröfse zu der oben gefundenen, wodurch die Trägheit des Wassers überwunden wird, hinzuzuaddiren ist. Die ganze Wassersäule also oder das derselben gleiche Gewicht, wodurch dem Wasser die Geschwindigkeit $= v$ mitgetheilt wird, ist demnach $= \frac{v^2}{2g}\left(\frac{a^2}{c^2} + 1\right)$. Reducirt man alles auf ein gewisses Gewicht in Pfunden $= w$, und die Längenmafse sämmtlich auf Fufse, drückt ferner das Gewicht der zu hebenden Wassersäule in Pfunden durch p aus, so wird die, zur Erzeugung einer Geschwindigkeit $= v$, womit das Wasser unter den angegebenen Bedingungen durch die Oeffnung strömt, erforderliche Kraft oder

$$w = \frac{p\,a\,v^2}{2g}\left(\frac{a^2}{c^2} + 1\right).$$

Finden sich mehrere Verengerungen in der Röhre, deren Flächeninhalte $= c'$; c'' . . . . seyn mögen, so würde

$$w = \frac{p\,a\,v^2}{2g}\left(\frac{a^2}{c^2} + \frac{a^2}{c'^2} + \frac{a^2}{c''^2} + \ldots + 1\right)$$

werden, woraus die Nothwendigkeit hervorgeht, alle solche Zusammenziehungen und Hindernisse zu vermeiden. Eben dieses findet statt rücksichtlich auf erweiterte Reservoirs, Behälter u. s. w. durch welche das Wasser passiren mufs, ehe es zur Ausflufsöffnung gelangt, und welche sämmtlich der Bewegung nicht vortheilhaft sind. Es ist deswegen gut, diese sowohl, als auch Hervorragungen und Widerstand leistende Theile in den Röhren zu vermeiden, weswegen man auch der einen Art der oben beschriebenen Windkessel an ihrer Mündung die trompetenförmige Erweiterung giebt; noch vortheilhafter in dieser Hinsicht ist es aber, wenn das Steigrohr sich im Windkessel selbst befindet, und zur leichtern Aufnahme des Wassers gleichfalls unten trompetenförmig aufgebogen ist [1]. *M.*

---

1 Robison a. a. O. Vergl. Brandes Lehrb. d. Gesetze d. Gleichg.

Dunkelheit.

Finsternifs; *tenebrae;* ténèbres; *darknefs;* ist gänzlicher Mangel an Licht oder an Erleuchtung.

Dunkle Körper; *corpora obscura, non lucentia; dark bodies;* heifsen die, welche kein eigenthümliches Licht besitzen, im Gegensatze gegen die **leuchtenden Körper** (*corpora lucida;* corps lumineux par eux-mêmes; *luminous bodies*), die wie die Sonne oder eine brennende Kerze oder glühende Kohle selbst Licht ausstrahlen. Diese an sich dunkeln Körper können gleichwohl *erleuchtet* werden, wenn die von leuchtenden Körpern ausgehenden Lichtstrahlen sie treffen, und sie erscheinen dann selbst als leuchtend vermöge des zurückgeworfenen Lichtes. Ihre Fähigkeit, das auf sie fallende Licht zurückzuwerfen, ist sehr verschieden, indem einige an ihrer sehr glatt polirten Oberfläche den Lichtstrahl, wie die Spiegel, nur nach einer einzigen Richtung reflectiren, und dadurch dem in der richtig gewählten Stellung stehenden Auge ein Bild des leuchtenden Gegenstandes zeigen, andre dagegen an ihrer rauhen Oberfläche das Licht zerstreuen und nach allen Richtungen hin zurückwerfen. Die ersteren erscheinen uns an allen übrigen Puncten *dunkel* und nur da *erleuchtet*, wo wir das Bild eines leuchtenden oder erleuchteten Gegenstandes in ihnen sehen. Die andern erscheinen uns an ihrer ganzen Oberfläche *erleuchtet* (*corpora illuminata*) und zeigen sich uns,

---

u. d. Bewegung u. s. w. II. 292. p. 699. Sehr ausführlich in der Beschreibung sowohl als auch hauptsächlich in den Formeln ist Langsdorf a. a. O. Aufser der angegebenen Literatur können noch verglichen werden Pitot in Mém. de l'Ac. 1735. p. 327. 1739. p. 393. 1740. p. 511. Polley Theatrum machin. Amst. 1737. Gensanne in Mém. de l'Ac. 1741. p. 163. L. Euler in Mém. de Berlin. 1752. p. 149 u. 185. Emerson's Mechanics. f. 267. de Borda in Mém. de l'Ac. 1768. p. 418. Quentin ebend. 1769. p. 130. Martin in Phil. Mag. XX. 223 u. 291. Jos. v. Baader vollständige Theorie der Saug- und Hebepumpen. 1820. 4. Gilly u. Eytelwein praktische Anweisung zur Wasserbaukunst. Ht. 2. Berl. 1803. 4. Stephens in Transactions of the Soc. for the encouragement of Arts cet. Lond. 1813. 8. XXXI. 23 ff. P. Bossut Lehrbuch d. Hydraulik. übers. von Langsdorf. 2 Th. 8. Frankf. 1792. I. 107. Christian Mécanique industrielle. T. III. Par. 1825. 4. p. 168 u. 398. u. m. a.

von weifsem Sonnenlichte beschienen, entweder weifs oder farbig; aber selbst die, welche sich weifs zeigen und also alle Arten der Lichtstrahlen sehr nahe in denselben Verhältnifs, wie sie im Sonnenlichte gemischt sind, zurückstrahlen, werfen dennoch nicht *alle* Strahlen zurück, sondern zeigen sich uns in einem verschiedenen Grade von *Weifse* (*albedo*; blancheur; *whitenefs*); nach Lambert's Untersuchungen[1] wirft selbst das weifseste Papier nur $\frac{2}{3}$ des empfangenen Lichtes zurück, und andere weifse Körper, deren Ansehn, wenn sie viel weniger Licht zurückwerfen, ins Graue fällt, geben noch weniger Licht zurück[2]. Die weifsen Körper zeigen uns eine andre Farbe, wenn sie blofs mit einfarbigem Lichte erleuchtet werden, und zeigen da jede zur Erleuchtung angewandte Farbe ziemlich gleich gut. Die farbigen Körper haben dagegen die Eigenschaft (deren näheren Grund wir nicht anzugeben wissen), dafs sie gewisse Farben vorzugsweise zurückwerfen und sich daher so gefärbt zeigen. Ganz fehlen bei ihnen auch die weifsen oder unzerlegten Lichtstrahlen unter den von ihnen zurückgeworfnen nicht, wie die Betrachtung durch das Prisma zeigt, und eben deshalb sehen wir den sonst blau erscheinenden Körper roth, wenn er blofs von rothem Lichte erleuchtet wird. u. s. w. Eine andre Verschiedenheit bieten die an sich dunkeln Körper dar, indem einige durchsichtig sind, andre kein Licht durchlassen; aber auch jene schwächen wenigstens das durchgehende Licht[3].

Die an sich dunkeln Körper werden *selbstleuchtend* durch starke Erhitzung beim Glühen, manche durch eine anfangende Fäulnifs, manche selbst dadurch, dafs sie lange dem Lichte ausgesetzt gewesen sind. Hierüber hat Heinrich[4] zahlreiche Versuche angestellt. *B.*

---

1 Photometria s. de mensura et gradibus luminis. §. 749.

2 Wie man dieses bestimmt s. im Art. *Erleuchtung*.

3 Vergl. d. Art. *Durchsichtigkeit und Farben der Körper*.

4 Pl. Heinrich die Phosphorescenz der Körper nach allen Umständen betrachtet.

Dunst.

Was man eigentlich unter *Dunst* zu verstehen habe, ist schon oben [1] angegeben. Sowohl in der deutschen als auch noch mehr in den übrigen Sprachen ist *Dunst* und *Dampf* fast gleichbedeutend, und wird beides durch *vapor*; vapeur; *vapour* ausgedrückt, noch mehr aber identisch in ihrer Bedeutung sind die Ausdrücke *verdampfen* und *verdunsten*. Indeſs unterscheidet man schon im Englischen *vapour* von *steam*, indem das erstere eine allgemeinere Bedeutung hat, das letztere dagegen eigentlicher transparenten Dampf bezeichnet, im Deutschen aber kann man immerhin den Sprachgebrauch in soweit genügend festgesetzt annehmen, daſs *Dampf* eine *völlig expandirte, äuſserlich Gasform zeigende Flüssigkeit*, *Dunst* dagegen die *nicht völlig expandirte* und *minder durchsichtige* bezeichnet [2]. Ein solcher Dunst, namentlich von Wasser, Weingeist und manchen andern Flüssigkeiten, zeigt sich über ihnen beim Sieden oder bei hoher Temperatur derselben, insbesondere wenn groſse Quantitäten erhitzt werden, und die äuſsere umgebende Luft schon mit Dampf überfüllt ist, folglich den neu entstandenen nicht schnell aufnehmen kann, als über Brauhäusern u. dgl. m. Bei allen Flüssigkeiten dieser Art ist der festgesetzte Unterschied zwischen Dampf und Dunst leicht bemerkbar, namentlich beim Wasser, wenn man den in feuchter Luft schwebenden *Dampf*, oder den unter einer exantlirten Campane befindlichen, worunter zugleich ein Gefäſs mit Wasser steht, mit dem über einer groſsen Siedepfanne schwebenden *Dunste* vergleicht. Ob auch aus andern Körpern, namentlich den Metallen, eigentlicher Dampf gebildet wird, ist beim Quecksilber erwiesen [3], von welchem in starker Hitze auch Dunst aufsteigt; von den meisten andern Metallen ist es aber weit weniger durch Versuche mit Bestimmtheit zu entscheiden. Ausgemacht ist, daſs manche Metalle einen Geruch verbreiten, welcher nicht füglich etwas anderem, als feinen

---

1 S. *Dampf.* Th. II. S. 279.

2 Die umgekehrten Bedeutungen der Ausdrücke nimmt E. G. Fischer in Schutz. S. Theorie und Kritik der Verdunstungslehre. Berl. 1810. 8. p. 7. Anm.; aber gewiſs mit Unrecht.

3 S. *Verdampfung.*

verdampften Partikeln derselben beizumessen ist, auch schaden manche Verarbeitungen der Metalle unleugbar der Gesundheit durch die unsichtbaren verflüchtigten Partikelchen. In der Regel aber bilden die verflüchtigten Metalle ganz eigentlichen sichtbaren Rauch, also der angenommenen Bedeutung nach *Dunst*, z. B. Gold und Silber nahe beim Brennpuncte großer Brennspiegel [1], die weniger strengflüssigen schon in starkem Glühfeuer, alle aber im Gasgebläse oder durch die Wirkung heftiger elektrischer Flaschenschläge. Rücksichtlich der letzteren Erscheinungen bemerkt man, daſs der Rauch, welcher in diesem Falle sehr dicht von den zerstörten Metalldrähten aufsteigt, ganz nach der Art des Wasserdunstes sich weiter ausbreitet und dann unsichtbar wird. Ob dieses eine Folge der weiteren Ausbreitung und damit verbundenen gröſseren Entfernung der einzelnen Partikeln von einander ist, oder ob ein wirklicher Uebergang in Dampf, wie bei tropfbaren Flüssigkeiten, hierbei statt findet, wage ich der öfteren Beobachtung dieses interessanten Phänomens ungeachtet nicht mit Gewiſsheit zu entscheiden, jedoch scheint mir das Letztere wahrscheinlicher. Inzwischen ist uns das Verhalten und die eigentliche Beschaffenheit aller übrigen Dämpfe und Dünste, auſser denjenigen, welche aus tropfbaren Flüssigkeiten, insbesondere dem Wasser gebildet werden, so wenig bekannt, daſs wir von einer sicheren Entscheidung jener Frage noch sehr weit entfernt sind. Zum Wasserdunste ist aber, auſser dem genannten, ferner noch zu rechnen der Nebel und der mitunter nebelartig sich verdichtende Thau, und die Bestandtheile der Wolken, welche in gehöriger Nähe dem Nebel sehr ähnlich sind.

Um dasjenige, was zur Erläuterung des vorliegenden Gegenstandes gehört, nicht weiter auszudehnen, als wozu die festgesetzte Bedeutung des Wortes zunächst berechtigt, muſs zuvor bemerkt werden, daſs dasjenige, was über die Dämpfe durch die bisherigen Untersuchungen bekannt geworden ist, sich schon im Artikel *Dampf* in möglichster Vollständigkeit erörtert findet, die Dampf- und Dunstbildung aber, oder die Gesetze, die Bedingungen und die verschiedenen Theorieen des Entstehens von Dampf und Dunst bei verschiedenen Temperatu-

1 Homberg in Mém. de Par. 1702. Geoffroy ebend. 1709.

ren, wird im Artikel *Verdampfung* abgehandelt werden, die Bildung und Beschaffenheit des *Nebels* und der *Wolken*, so wie das Schweben beider in der Atmosphäre läfst sich am zweckmäfsigsten mit den Untersuchungen dieser Gegenstände verbinden, und so bleibt also nichts weiter übrig, als die individuelle Beschaffenheit des Dunstes an sich hier etwas näher zu prüfen.

Die *Dünste* sind, eben wie die *Dämpfe*, eine *Verbindung tropfbarer Flüssigkeiten mit Wärme, dem Wärmestoffe.* Nachdem man lange Zeit vorher die Bildung derselben einer Verwandlung namentlich des Wassers in Luft oder mindestens einer Auflösung jenes in dieser beigemessen hatte, war DE LÜC [1] der erste, welcher beide sowohl Dämpfe als auch Dünste für eine einfache Verbindung von Wasser und Wärme, oder vielmehr eine Auflösung des ersteren in letzterer ansah. Eine hauptsächliche Schwierigkeit bei der Erklärung des Verhaltens dieser beiden Substanzen fand man jederzeit in dem *Aufsteigen* derselben in der Luft, weil man ohne genauere Berechnung nur im Allgemeinen den grofsen Unterschied des specif. Gew. von Wasser und Luft berücksichtigte. Indefs schon DESAGULIERS [2] nahm an, der Dampf sey nach BEIGTON's und seinen eigenen Versuchen 14000 mal, nach NIEUWETYT 13336 mal dünner als Wasser, wenn derselbe vermittelst einer Aeolipile gebildet würde, der durch Verdunstung in der Sommerhitze entstandene sollte daher 2058 mal dünner als Wasser seyn, und er mufste somit vermöge seines geringeren Gewichtes in der Luft schweben. Solche Ansichten herrschten ziemlich allgemein, standen indefs in einem nicht klar gedachten, aber nichts destoweniger fühlbaren Widerspruche mit der grofsen Menge des Wassers, welches oft aus der Atmosphäre herabstürzt, weswegen auch DESAGULIERS selbst einige Jahre später [3] die Wasserpartikeln durch elektrische Anziehung in der Luft getragen werden liefs, eine Ansicht, welche verschiedene andere

1 Recherch. sur les modif. de l'Atm. I. §. 675.
2 Phil. Trans. XXXVI. 6.
3 Phil. Trans. XLII. 140.

Physiker, z. B. Eles [1], Eason [2], Monge [3], Lichtenberg [4] u. a. mit oder ohne gleichzeitige Annahme hohler Bläschen mehr oder weniger deutlich aussprachen. Rücksichtlich auf den Wasserdampf ist diese Frage gegenwärtig nicht mehr streitig. Einestheils ist es nämlich ausgemacht, daſs derselbe, mindestens bis zur Siedehitze und noch darüber, um so viel mehr also bei mittleren und niederen Temperaturen specifisch leichter ist, als die atmosphärische Luft, und somit also in derselben statisch aufsteigen muſs, bis in höheren Regionen das Gleichgewicht wieder hergestellt ist; anderntheils bildet derselbe für sich eine Atmosphäre, und wenn gleich Dalton's Theorie von dem Fürsichbestehen der verschiedenen Atmosphären unhaltbar ist [5], so müſste doch die Dampfatmosphäre als solche, auch wenn sie specifisch schwerer als die Luftatmosphäre wäre, eben wie die wirklich schwerere Kohlensäure - Atmosphäre und Sauerstoffgas - Atmosphäre sich über der Erdoberfläche ausbreiten, und sowohl dieser ihrer individuellen Beschaffenheit als expansibeln Flüssigkeit nach, als auch vermöge der Gesetze der Adhäsion in der atmosphärischen Luft schweben, ohne wie das nicht expandirte Wasser herabzusinken. Diese Betrachtung stellt den eigentlichen Gesichtspunct fest, welcher zur genaueren Würdigung der Sache nicht übersehen werden darf. Newton [6] hat daher vollkommen Recht, die trockne Luft für schwerer, als die mit Dampf erfüllte auszugeben, worin ihm Gehler [7] mit Unrecht widerspricht, auch ist dieser physikalische Lehrsatz seit Saussüre's gehaltreichen Untersuchungen [8], der späteren nicht zu gedenken, hinlänglich begründet. Allein dieses gilt bloſs vom *Dampfe*, und man darf nicht übersehen, daſs zwischen Dampf und Dunst ein bedeutender Unterschied statt findet.

---

1 Phil. Trans. 1755. p. 124.
2 Manch. Mem. I. 395.
3 Mém. de l'Acad. 1787.
4 Erxleben Naturl. p. 374.
5 Vergl. Th. I. p. 488.
6 Traité d'Optique, traduit par Coste. Amst. 1720. T. I. L. III. q. 31.
7 Wörterb. I. 625.
8. Essay sur l'Hygrometrie Ess. II. §. 108.

Der *Dunst*, obwohl gleichfalls eine *Verbindung der gegebenen Flüssigkeit mit dem Wärmestoffe*, ist ohne Widerrede dichter als Dampf, und kann nicht für vollkommen expandirt angesehen werden; seine Entstehung aber ist allerdings merkwürdig und wahrscheinlich bloſs auf folgende Weise erklärlich. Nach den Untersuchungen über die latente Wärme des Wasserdampfes [1] ist es nicht wohl zu bezweifeln, daſs die Summe der sensibelen und latenten Wärme desselben eine constante Gröſse sey, und 640° C. betrage. Wird daher Wasser in einem ganz oder zum Theil offenen Gefäſse einer starken Hitze ausgesetzt, so entsteht *Dampf* durch die Verbindung der zugeführten Wärme mit dieser Flüssigkeit, erhebt sich über die Oberfläche des Wassers, und steigt als völlig expandirte Flüssigkeit in die Höhe. Mit demselben zugleich sich erhebend erscheint der *Dunst* bis zu einer der Oberfläche des Gefäſses proportionalen, durch Einschlieſsung des Raumes, freien Luftzug und sonstige Bedingungen modificirten Höhe, welcher entweder durch den Dampf mechanisch fortgerissen, oder in den von jenen eröffneten Räumen aufgestiegen, oder aus einer sonstigen Ursache gleichzeitig mit und aus demselben gebildet seyn kann. Welche von diesen angegebenen Ursachen der Bildung des Dunstes zum Grunde liegen mag, ob eine oder mehrere der genannten oder noch andere unbekannte, dieses scheint auf den ersten Blick zwar schwer zu entscheiden, höchst wahrscheinlich aber, oder vielmehr zuverlässig, entsteht derselbe *aus dem Dampfe selbst.* Hierfür sprechen zwei triftige Gründe. Zuerst ist es eine bekannte Erfahrung, daſs das Abdampfen groſser Massen von Flüssigkeit, z. B. bei den Salzpfannen, weit rascher von Statten geht, wenn die Pfannen überall mit Brettern umgeben sind, und bloſs oben Zuglöcher haben, damit die von Auſsen zuströmende kalte Luft den Dampf nicht zu stark abkühlt und in zum Theil zurückfallenden Dunst verwandelt; zweitens aber entsteht durch Abkühlung des in der Atmosphäre reichlich vorhandenen völlig expandirten Wasserdampfes der oft sehr dicke Dunst, welcher sich als Nebel und Wolken zeigt. Nimmt man hinzu, daſs der Dampf über siedenden Flüssigkei-

1 Vergl. *Dampf, latente Wärme desselben.* Th. II. S. 293.

ten allezeit um so viel mehr mit Dunst vermischt, und daher so viel dichter erscheint, je kälter die umgebende Luft ist, dafs dagegen der durchsichtige und völlig expandirte Wasserdampf in langen erhitzten Röhren ohne Beimischung von Dunst beliebig hoch oder weit fortgeführt werden kann, sich aber sogleich als Dunst zeigt, wenn er in eine kältere Umgebung eintritt, so wird es hiernach im hohen Grade wahrscheinlich, dafs der Dunst nichts anderes als durch Abkühlung niedergeschlagener Dampf sey, obgleich diese Ansicht eines vollständig strengen Beweises ermangelt.

Gehen wir von dieser Hypothese aus, berücksichtigen wir ferner, dafs der *Dunst* dafs Licht mehr zurückwirft, weniger durchläfst und anders bricht als *Dampf*, so müssen wir annehmen, dafs er zugleich auch dichter sey, wenn gleich die eigentliche Dichtigkeit desselben nicht genau bekannt ist, und auch wegen ihrer, keinen bestimmten Gesetzen folgenden, Veränderlichkeit nicht füglich scharf bestimmt werden kann. Wirklich besteht auch der Dunst aus sehr feinen wässerigen, ein buntes Farbenspiel zeigenden Partikelchen, welche man unter andern mit blofsen Augen wahrnimmt, wenn man des Abends oder des Nachts bei starkem Nebel in einem Zimmer befindlich ein brennendes Kerzenlicht aus dem geöffneten Fenster hält, und hierdurch diese Partikelchen stark beleuchtet, oder bei hinlänglichem Lichte den Dunst auf der Oberfläche eines siedenden Gefäfses mit Wasser entweder mit unbewaffnetem Auge oder durch eine Loupe betrachtet. Die wirkliche Existenz solcher feiner wäfsriger Partikelchen als Bestandtheile des Dunstes ist somit durch den Augenschein erwiesen, auch ist die Erklärung des Entstehens derselben keineswegs mit unüberwindlichen Schwierigkeiten verbunden. Nach der wohlbegründeten Theorie über die latente Wärme des Dampfes ist zwar ausgemacht, dafs die sensibele Wärme desselben in höheren Temperaturen gerade hinreicht, um diejenige latente Wärme herzugeben, welche derselbe zum Uebergange in den Zustand geringerer Dichtigkeit und gröfserer Expansion bedarf, und es scheint hiernach, als ob beim Aufsteigen des heifseren Dampfes aus der ihn bildenden Flüssigkeit kein Dunst entstehen könnte, indem die zu seiner weiteren Expansion erforderliche Wärme ihn als sensibele Wärme jederzeit begleitet; wenn man aber berück-

sichtigt, dafs ein Theil dieser letzteren an die äufseren Umgebungen abgegeben wird, und es nach Art aller Auflösungen und Verbindungen einer gewissen Zeit bedarf, bis dieselben erfolgen und vollständig werden, so ist es nichts weniger als unerklärlich, dafs der heifse Dampf im Momente seines Aufsteigens aus der Flüssigkeit einen Theil seiner sensibelen Wärme verliert, und partiell in Dunst verwandelt wird. Ist dann die Entziehung dieser sensibelen Wärme bleibend, z. B. durch einen beständigen Zuflufs kalter Luft, so wird ein Theil des Dunstes fortwährend in die Flüssigkeit zurücksinken, woraus die Entstehung des Nebels über den Flüssen und der gröfsere Verbrauch von Brennmaterial bei den nicht mit Brettern umgebenen Salzpfannen erklärlich wird; ist aber die Entziehung nicht beständig fortdauernd oder gar nicht vorhanden, z. B. wenn man eine Flüssigkeit unter einer exantlirten Campane verdampfen läfst [1], so findet eine geringere oder gar keine Bildung von Dunst statt, indem die sensibele Wärme zur stärkeren Expansion des aufsteigenden Dampfes verwandt wird. Ob aber diese feinen, nicht expandirten und nicht eigentlich Dampfform habenden Partikelchen, welche die Bestandtheile des reinen oder mit Dampf vermischten Dunstes ausmachen, aus dichten oder hohlen Wasserkügelchen bestehen, womit sie im letzteren Falle erfüllt seyn mögen, und wie sich das Schweben derselben in der Luft erklären lasse, diese Fragen haben die Physiker seit langen Zeiten vorzüglich beschäftigt, und es ist der Gegenstand der folgenden Untersuchung, was hierüber als anerkannte Wahrheit oder mit Wahrscheinlichkeit anzunehmen sey.

Nach de Lüc [2] besteht der Unterschied zwischen Dampf und Dunst darin, dafs jener aus feineren, dieser aus gröberen Wasserpartikeln gebildet ist. Wenn nämlich der Unterschied der Temperatur zwischen der umgebenden Luft und der Flüs-

---

1 Nur unter günstigen Umständen, namentlich bei hoher äufserer Temperatur läfst sich auf die angezeigte Weise selbst ein Sieden ohne Erzeugung von Dunst hervorbringen. Wenn man indefs Wasser in einem Medicinglase anhaltend sieden läfst, dann schnell verkorkt und umkehrt, so findet darin bei hoher Temperatur, eben wie im Wasserhammer ein eigentliches Sieden ohne Dunstbildung statt.

2 a. a. O. §. 707.

sigkeit sehr grofs ist, so soll der Wärmestoff bei seinem Durchströmen durch das Wasser gröfsere Quantitäten desselben in die Höhe führen, ohne sich innig damit verbunden zu haben, so dafs sie also sichtbar bleiben; wenn aber der Unterschied geringer ist, so sollen nur kleinere und innig mit dem Wärmestoffe verbundene Theilchen aufsteigen, und als unsichtbarer Dampf sich mit der Luft verbinden. Dafs diese Hypothese eben so wenig haltbar sey, als Gehler's Erklärung, welcher den Unterschied in eine mehr oder minder vollständige Auflösung des Wassers in der Luft setzt, bedarf keiner ausführlichen Erörterung.

Eine der ältesten, von vielen Naturforschern angenommene, von andern dagegen oft und lebhaft bestrittene Meinung ist die, dafs die sichtbaren Partikeln des Wasserdunstes aus einer dünnen wäfserigen Hülle bestehen, in welcher verdünnte Luft oder eine andere sehr feine und leichte Flüssigkeit eingeschlossen seyn soll. Schon Halley [1] sucht aus der Annahme solcher Bläschen die Erscheinungen der Verdunstung zu erklären, Chauvin [2] nahm sie gleichfalls an und Leibnitz [3] berechnete die Dicke der Häutchen, welche mit zehnmal dünnerer Luft, als die atmosphärische ist, erfüllt sich schwebend erhalten können. Nach Musschenbroek [4] ist das Feuer selbst, oder dem Sinne nach gleichfalls eine tausendmal dünnere Substanz als das Wasser das in den zarten Häuten eingeschlossene Fluidum, oder sie sind ganz leer, in welchem Falle aber die Luft sie zusammendrücken müfste. Hiernach scheint ihm also die Annahme der Bläschen sehr hypothetisch, und er ist mehr geneigt mit Cartesius eine drehende Bewegung der Wassertheilchen oder die Elektricität zur Erklärung des Phänomens zu Hülfe zu nehmen. Ungleich mehr verwirrt sich Desaguliers [5] in unklaren Begriffen, indem er die Bildung der Dunstkügelchen dem Feuer (ignis mas), das Emporsteigen derselben der

---

1 Phil. Trans. XVI. 868. XVIII. 183.
2 Miscellania Berolin. I. 120.
3 Ebend. I. 123. Opp. II. II. 82.
4 Introd. II. §. 2297.
5 Phil. Trans. 1742. XLII. 140. Course of Experim. Phil. II. Lect. 10.

Luftelektricität (ignis femina) beimifst, und noch obendrein das Centralfeuer, Gährungen in der Erde und Winde einmischt. Nach L. Euler [1] dagegen besteht der Dampf sowohl als auch der Dunst, und ohne einen Unterschied beider zu berücksichtigen, aus Bläschen, deren wäfsrige Hülle mit einem, in steter Bewegung befindlichen Aether erfüllt seyn soll, woraus das die Leichtigkeit derselben erklärlich werde. Eine Preisaufgabe der Akademie der Wissenschaften zu Bordeaux veranlafste zwei Schriften über diesen Gegenstand, die eine von Kratzenstein [2], die andere von Hamberger [3]. Ersterer hielt den Dampf überhaupt uud noch mehr die Dünste für kleine Bläschen, welche durch die Leichtigkeit der eingeschlossenen Feuermaterie aufsteigen sollten, Letzterer dagegen setzt den Unterschied zwischen Dampf und Dunst blofs in die gröfsere und geringere Feinheit, und erklärt das Aufsteigen derselben sehr künstlich dadurch, dafs bei der Bildung beider das Feuer den Wasserpartikeln anhängt, sie zugleich aber der Adhäsion der Luft folgen; und da die letztere stärker ist als die erstere, die Feuerschicht aber sich unter ihnen, die Luftschicht dagegen über ihnen befindet, so müssen sie von der Luft angezogen werden und aufsteigen. Selbst von der Unhaltbarkeit dieser Hypothese überzeugt ging indefs Hamberger [4] später zu der Theorie über, wonach die Wasserpartikeln in der Luft aufgelöset seyn sollen, und welche später hauptsächlich durch le Roy [5] begründet wurde. Seitdem blieb diese Ansicht mehr allgemein, man übersah den wesentlichen Unterschied zwischen Dampf und Dunst, und nahm gegen Halley's Annahme der bläschenartigen Dunstpartikeln seine Zuflucht zur Elektricität, um das Aufsteigen des schwereren Wassers in der leichteren Luft zu erklären.

Der erste, welcher diesen Gegenstand wieder in genaue Untersuchung zog, war de Saussüre [6]. Dieser hält den eigent-

---

1 Acta Acad. Petr. III. 1. 162.
2 Abhandlung vom Aufsteigen d. Dünste und Dämpfe, Halle 1744. 8.
3 Diss. sur la cause de l'Élevation des vapeurs. Bordeaux 1743. 4.
4 Elementa Physices. Jenae 1750. §. 477.
5 Mém. de l'Ac. 1751. p. 481.
6 Essais sur l'hygrométrie. Ess. II.

lichen Dampf gleichfalls für eine Auflösung der Wasserpartikeln in der atmosphärischen Luft, wofür die vollständige Durchsichtigkeit desselben ihm als Beweis dient. Hiervon unterscheidet er indefs den dichteren Dunst (vapeur concrète), welcher entweder aus kleinen Tröpfchen oder gefrorenen Eisnadeln, oder hohlen Bläschen besteht, das Licht auf eine eigenthümliche Weise bricht und reflectirt, und hierdurch die optischen Meteore erzeugt, welche eben daher Vorboten von Regen oder Schnee sind. Saussüre zeigte aufserdem, wie man sich von dem Vorhandenseyn solcher bläschenartigen Kugeln überzeugen könne. Man setzt zu diesem Ende eine dunkele, und daher das Sehen erleichternde Flüssigkeit, als Tintehaltiges Wasser oder Cafe nach beträchtlicher Erhitzung an einen Ort, wo die Luft ruhig ist und starkes Licht auf die Oberfläche fällt. In dem aufsteigenden Dunste unterscheidet man mit bloſsen Augen leicht gröſsere und kleinere, einzeln schwebende, ein buntes Farbenspiel zeigende, zum Theil auch bloſs weiſsliche Kügelchen, mit einer Loupe von 1 bis 1,5 Z. Brennweite aber bemerkt man einen Unterschied ihrer Gröſse, und sieht die kleineren schnell in die Höhe steigen, die gröſseren aber zum Theil wieder auf die Flüssigkeit zurückfallen, auf deren Oberfläche sie so leicht schweben, dafs man sie mit einen Hauche zur Seite blasen kann, wobei ein grofser Theil derselben aufzusteigen pflegt. Die Dunstbläschen werden auf diese Weise noch leichter sichtbar als vermittelst eines eigenen dampfkugelartigen Apparates, welchen de Saussüre zu ihrer Beobachtung verfertigte. Dieser besteht aus einer bei A verschlossenen, bei B in eine feine offene Spitze auslaufenden Röhre von weifsem nicht dickem Glase, mit zwei Kugeln C und D. In die erstere dieser Kugeln D brachte er etwas Wasser und erhitzte dieses über einer Weingeistlampe. So lange die Kugel C kalt blieb, zeigten sich in derselben eine Menge Dunstbläschen, wurde aber auch diese erhitzt, so war in derselben bloſs durchsichtiger Dampf, welcher mit Dunst vermischt aus der Spitze ausströmte. Wurde der Apparat von der Weingeistflamme entfernt und C abgekühlt, so zeigten sich in derselben die Bläschen wieder sehr deutlich, und mit einer Loupe konnte man ihre Bewegungen wahrnehmen. Diese Versuche zeigen evident, dafs die Dunstbläschen erst durch die Entziehung eines Theiles des Wärmestoffes gebildet werden;

Fig. 196.

dafs es aber Bläschen und keine massiven Kügelchen sind, darüber beruft sich DE SAUSSÜRE mit Recht blofs auf den Augenschein. Mit noch gröfserer Bestimmtheit entscheidet ein anderer, sehr competenter Richter für das wirkliche Vorhandenseyn solcher kleiner Bläschen. ROBISON[1] nämlich sagt, dafs die kleinen Dunstpartikelchen nicht das sternartige Funkeln zeigen, welches massive Wasserkügelchen bei starkem auffallenden Lichte dem Auge darzubieten pflegen, sondern eine mattere Reflection, wie von einem dünnen Häutchen, nach Art der Seifenblasen. Sehen wir sie ferner niederfallen, so geschieht dieses weit langsamer, als bei massiven Kügelchen der Fall seyn könnte. Läfst man endlich Lichstrahlen durch sie fallen, so zeigen sie sich von einem schwachen Regenbogen mit prismatischen Farben umgeben, gerade so wie derselbe nach optischen Gesetzen einer Anhäufung von Bläschen zugehört, aber ganz verschieden von einem solchen, welcher durch massive Wasserkügelchen entstehen müfste.

Ohne diese künstliche Vorrichtung bietet die Beobachtung des Nebels und der Wolken ein gleiches Resultat dar. Wenn man in der Umgebung eines dicken Nebels am besten des Abends beim Kerzenlichte durch eine Loupe gegen eine glatte schwarze Fläche, z. B. eine Platte von Schildpatt, eine schwarze Dose, einen schwarz lackirten Teller oder einen schwarzen Malerspiegel sieht, so bemerkt man die in den Brennraum der Loupe kommenden Dunstbläschen sehr genau. Sie bewegen sich schneller oder langsamer, rollen über die Fläche hinweg, springen zuweilen von ihr zurück, oder setzen sich in Gestalt von Halbkugeln auf derselben fest. Die kleinen Wassertröpfchen, welche sich zugleich mit ansetzen, sind wegen ihrer Durchsichtigkeit leicht von jenen zu unterscheiden. Uebrigens sind die Bläschen der Nebel und Wolken kleiner und weniger dicht gehäuft, als diejenigen Dünste, welche über heifsem Wasser, namentlich über Braupfannen und Salzsiedepfannen schweben; beide haben das Bestreben herabzusinken, wie sich denn auch meistens die Nebel, vorzüglich bei ruhiger Luft, herabsenken und den Boden benetzen, werden aber schwebend erhalten

1 Robison Mech. Phil. II. 13. Anm.

ßs weil das sehr geringe Gewicht derselben den Zusammen-
g der Luftheilchen nicht zu trennen vermag, aus welchem
ide auch die Sonnenstäubchen sich eine Zeitlang in der
osphäre gleichsam schwimmend erhalten, theils weil sie
lich specifisch leichter sind als die Luft. Diese letztere
tige Behauptung ist auf das entscheidende Argument ge-
idet, daſs nicht bloſs die Nebel und Wolken selbst bei ru-
r Luft sich wieder erheben, sondern auch die viel dichte-
Dunstbläschen über erhitzten Flüssigkeiten sichtbar empor-
en.

Diese letztere Erscheinung, nämlich das Schweben des
tes in der atmosphärischen Luft, ist bei dieser ganzen Un-
ichung dasjenige, was der Erklärung allezeit die gröſsten
vierigkeiten entgegengesetzt hat. Daſs die Dunstkügelchen
t massiv sind, läſst sich leicht daraus abnehmen, weil sie
t in Folge des groſsen spec. Gewichtes des Wassers gegen
auf keine Weise aufsteigen, sondern mit einer ihrer Gröſse
ortionalen Geschwindigkeit herabfallen müſsten. Thom.
ıc [1] berechnet aus dem bekannten Gesetze des Widerstan-
ler Luft gegen Körper, welche in derselben bewegt werden,
ein Wassertropfen, um nicht mehr als einen Zoll in einer
nde zu fallen, keinen gröſseren Durchmesser als $\frac{1}{8000000}$ Z.
n müſste, und sonach mit unbewaffnetem Auge nicht sicht-
eyn könnte; die feinsten sichtbaren Wassertropfen würden
mit einer Fallgeschwindigkeit von 1 F. in einer Secunde
sinken. Young bemerkt zwar zugleich, daſs der Wider-
l der Luft gegen so kleine Tropfen gröſser seyn müsse, als
lie Berechnung nach den Versuchen mit gröſseren Körpern
[2], allein dieses würde die erhaltenen Werthe so ganz be-
nd nicht abändern, und auf allen Fall muſs für das posi-
Aufsteigen des Dunstes eine eigentliche Ursache gesucht
en.

Ohne vorläufig diejenige Substanz zu bestimmen, womit
ufsteigenden Bläschen erfüllt seyn mögen, wollen wir die
ibe ganz allgemein auffassen, welche übrigens schon ver-

---

[1] Lectures on Nat. Phil. I. 711.
[2] Vergl. *Widerstand.*

schiedene Gelehrte beschäftigt hat. Leibnitz [1] unter andern sucht die Dicke eines Häutchens von Wasser zu finden, welches mit ausgedehnter Luft erfüllt dasselbe zum Aufsteigen bringt, und giebt Formeln hierfür an. Kratzenstein [2] will den Durchmesser der Dunstkügelchen aus der Vergleichung mit einem Haare $= \frac{1}{3600}$ Z. gefunden haben, womit De Saussüre sehr nahe übereinstimmt, indem er denselben bei den kleinsten $= \frac{1}{4500}$ Z. bei den gröſsten $= \frac{1}{2780}$ Z. angiebt. Zur Bestimmung der Dicke des umgebenden Häutchens benutzt Kratzenstein seine Beobachtungen, wonach die Dünste im verfinsterten Zimmer so lange einerlei Farbe zeigen, als sich die Dicke des Häutchens nicht ändert, im Fall einer ungleichen Dicke aber ein Farbenspiel zeigen sollen. Aus denjenigen Resultaten aber, welche Newton durch seine Versuche und Beobachtungen des Farbenspieles der Seifenblasen erhalten hat, folgert er, daſs die Dicke des Häutchens im natürlichen Zustande der Luft nicht mehr als $\frac{1}{50000}$ eines engl. Zolles betragen. Kratzenstein berechnet, daſs in diesem Falle das Dunstbläschen 0,1 engl. Z. Durchmesser haben müsse, wenn auch der eingeschlossene Raum des Häutchens ein leerer wäre, woraus folgen würde, daſs man die Dicke des Häutchens noch ungleich geringer annehmen müsse [3]. Indem aber der Durchmesser der Kügelchen nur $\frac{1}{3600}$ eines Zolles betragen soll, so folgert Kratzenstein hieraus, daſs die Dunstkügelchen schwerer als die atmosphärische Luft seyn, folglich niedersinken müſsten, weswegen er ihr Aufsteigen aus der Zähigkeit der Luft und aus Ursachen ableitet, die er selbst nicht deutlich angeben zu können bekennt.

De Saussüre sucht diese Argumentation auf eine Art zu widerlegen, welche mir mit den Erscheinungen nicht überein-

---

1 Miscel. Berol. I. 123.

2 a. a. O.

3 Die Formel, wonach in Gehler I. 629. dieses Resultat erhalten wird, ist folgende. Wenn D der Durchmesser des Kügelchens, x die Dicke des Häutchens ist, m, n und v aber die spec. Gewichte des Wassers, der Luft und der eingeschlossenen Flüssigkeit bezeichnen, so ist $x = \frac{1}{2} D - \left(\frac{m - n}{m - v}\right)^{\frac{1}{3}} \times \frac{1}{2} D$, oder nahe genau $x = \frac{n - v}{6\,(m - v)} . D$. Wird hierin $x = \frac{1}{50000}$; $m = 800$; $n = 1$ und $v = 0$ gesetzt, so ist $D = \frac{48}{500}$ oder nahe $= \frac{1}{10}$.

zustimmen scheint. Er will nämlich durch einen Versuch gefunden haben, dafs in dem durch die Dunstbläschen gehenden Lichte alle prismatischen Farben zugleich vorhanden wären. Da sich aber die durch NEWTON angegebenen Bestimmungen auf gewisse Reihen oder Successionen der Farben beziehen, so folgert er hieraus, dafs die von KRATZENSTEIN gegebene Bestimmung der Dicke des Häutchens nicht die geringste Zuverlässigkeit habe, weil in einem Falle, in welchem alle Farben auf einmal erscheinen, es unmöglich sey, eine genügende Vergleichung mit den Newtonschen Successionen der Farben anzustellen. Vielmehr erhelle hieraus, dafs jedes Bläschen eine andere Dicke seines Häutchens habe, auch können diese Häutchen, eben wie bei den Seifenblasen, am oberen Theile dünner als am unteren seyn, und somit die Farben nur am unteren erscheinen, woraus sich aber auf die Dicke des ganzen Häutchens nicht schliefsen lasse.

Wenn es zuvörderst auf eine genaue Bestimmung des Durchmessers der Bläschen selbst ankommt, so mufs jeder eingestehen, dafs diese aufserordentlich schwer ist. Ein zweckmäfsiges Verfahren dieser Messung dürfte seyn, wenn man ein sehr helles Sonnenmikroskop vorher so weit erhitzte, dafs sich die Dunstbläschen daran nicht niederschlagen, dann dieselben vor der Linse des Mikroskops aufsteigen liefse, und durch Messung des Durchmessers des erzeugten Bildes und Vergleichung desselben mit einem bekannten Körper diese Gröfse bestimmte. Rücksichtlich des Farbenspieles, welches das durchgehende Licht in denselben erzeugt, habe ich selbst oftmals das sehr bunte Farbenspiel wahrgenommen, welches sich in den Bläschen zeigt, und grofse Aehnlichkeit mit der Beugung des Lichtes hat, wenn dasselbe durch ein feines Spinnengewebe oder Fensterscheiben mit feinen Rissen fällt. Ob es möglich sey, hieraus auf die Dicke der Häutchen zu schliefsen, wage ich nicht zu entscheiden, jedoch scheint es mir auf allen Fall sehr unsicher, wo nicht ganz unmöglich. Liefse sich indefs nicht blofs die Gröfse des Durchmessers der Kügelchen, sondern auch die Dicke des Häutchens mit Sicherheit bestimmen, so würde es viel leichter seyn, mit Wahrscheinlichkeit diejenige Substanz anzugeben, welche den Inhalt der Bläschen ausmachen kann, indem die Voraussetzung KRATZENSTEIN's, wonach er sie für

absolut leer hält, bei der Berechnung kaum aufgenommen zu werden verdient. Diesemnach sind also die Grundlagen, worauf man eine genauere Untersuchung bauen könnte, viel zu schwankend und unsicher, als dafs sich ein befriedigendes Resultat davon erwarten liefse. Wie weit man aber mit hypothetischen Voraussetzungen zu gelangen vermöge, werden die folgenden Betrachtungen ergeben.

Da nach überwiegenden Gründen anzunehmen ist, dafs die Dunstbläschen aus hohlen Kügelchen bestehen, so mufs vor allen Dingen das Verhältnifs ihrer Hülle zur Masse festgesetzt werden. Heifst demnach der Durchmesser des ganzen Kügelchens $= d$; des durch die Hülle eingeschlossenen $= \delta$, so ist $d - \delta = 2x$ die doppelte und x die einfache Dicke des Häutchens. Ist dann ferner das spec. Gewicht der Masse, welche das Häutchen bildet $= m$; das der atmosphärischen Luft $= l$; das der in dem Häutchen eingeschlossenen Substanz $= \lambda$, so ist bekanntlich

das Gewicht des Häutchens $= \frac{m(d^3 - \delta^3)\pi}{6}$

das Gewicht der inneren Kugel, wenn dieselbe aus Luft bestehen wäre $= \frac{l\delta^3\pi}{6}$

das Gewicht der inneren Kugel, aus der leichtern Substanz bestehend $= \frac{\lambda\delta^3\pi}{6}$.

Das Kügelchen wird in der Luft schweben, wenn die Differenz des Gewichtes der inneren, aus einem leichteren Stoffe bestehenden, Kugel und einer gleich grofsen von Luft dem Gewichte der Hülle gleich ist, also

$$\frac{m(d^3 - \delta^3)\pi}{6} = \frac{l\delta^3\pi}{6} - \frac{\lambda\delta^3\pi}{6}.$$

oder einfach $m(d^3 - \delta^3) = (l - \lambda)\delta^3$

Hieraus findet man $d = \delta\left(\frac{m + (l - \lambda)}{m}\right)^{\frac{1}{3}}$

und $\delta = d\left(\frac{m}{m + (l - \lambda)}\right)^{\frac{1}{3}}$

also $d - \delta = \delta\left(\frac{m + (l - \lambda)}{m}\right)^{\frac{1}{3}} - d\left(\frac{m}{m + (l - \lambda)}\right)^{\frac{1}{3}}$

worin für δ substituirt giebt

$$\frac{d-\delta}{2}=x=\frac{d}{2}\left(1-\left(\frac{m}{m+(l-\lambda)}\right)^{\frac{1}{3}}\right)$$

Nimmt man mit Kratzenstein die Dicke des Häutchens, oder $x = \frac{1}{10000}$ Z., setzt $m = 800$; $l = 1$ und $\lambda = 0$, so müſste der Durchmesser der Kügelchen nach dieser Formel gerechnet = 0,09756 seyn, welches mit den Beobachtungen nicht übereinstimmt. Allein die Newtonschen Farben in dünnen Mitteln erscheinen noch in ungleich dünneren Lagen. Nehmen wir daher an, daſs das Häutchen aus Wasser bestehe, berücksichtigen wir ferner, daſs in den Kügelchen sich *alle* Farben zeigen, und wir also bei der Bestimmung der Dicke seiner Hülle bis zu derjenigen gehen müssen, worin nach Biot [1] das Grün der zweiten Ordnung erscheinen muſs, so giebt dieses für Wasser 11,333 Milliontheilchen eines engl. Zolles. Wird dieser Werth für x genommen, so erhält man mit Beibehaltung der übrigen Gröſsen d = 0,05528 Z. also noch über ein halbes Zehntel eines englischen Zolles, welches mit der Erfahrung gleichfalls unvereinbar ist. Indem nun auſserdem die Voraussetzung, daſs $\lambda = 0$, oder daſs der Raum in hohlen Kügelchen ein leerer sey, nicht statt finden kann, jeder Werth von λ aber den für d gefundenen vergröſsert, so berechtigt dieses zu der Folgerung, daſs, die Richtigkeit der zum Grunde gelegten Bestimmungen vorausgesetzt, das Farbenspiel der Dunstkügelchen nicht auf die Newtonschen Farbenreihen in dünnen Mitteln zurückgeführt werden kann. Wirklich scheinen mir auch die entstehenden Farben mit denen der Seifenblasen keine groſse Aehnlichkeit zu haben, und gleichen vielmehr den durch Beugung an sehr kleinen Körpern entstehenden, wie schon oben bemerkt ist, und wir müssen daher nach den vorliegenden Gründen das bunte Farbenspiel in den Dunstkügelchen für eine Folge der Diffraction ansehen, woraus aber hervorgeht, daſs aus demselben keine Bestimmungen weder über die Gröſse des Durchmessers noch der Dicke der Häutchen, welche die Dunstkügelchen umschlieſsen, entnommen werden können.

Das Verhältniſs der Durchmesser und der Dicke der Hüllen kann nicht aufgefunden werden, so lange die Bestandtheile der-

1 Traité IV. 77.

selben nicht bekannt sind. Bei denjenigen, welche aus dem Wasser oder sonstigen Flüssigkeiten aufsteigen, durch deren Erhitzung reines oder nahe reines Wasser verdunstet wird, besteht die Hülle wohl ohne Zweifel aus Wasser; schwerer bestimmbar aber ist der Inhalt derselben. Man könnte nach älteren Vorstellungen annehmen, sie wären mit Wärme (Feuermaterie) erfüllt [1], und diese Hypothese liefse sich allenfalls durch die neuesten Versuche FRESNEL's unterstützen, welcher die Repulsion der Wärme auch im leeren Raum beobachtet hat [2], wenn man annähme, dafs die Hülle eben durch diese Repulsion der Wärme ausgedehnt würde; bei genauerer Untersuchung aber mufs diese Hypothese als unhaltbar erscheinen. Einmal nämlich würde es gegen bekannte Naturgesetze streiten, wenn man annehmen wollte, dafs der Wärmestoff die gebundenen Wasserpartikeln verlassen, und frei im Raume der Kügelchen existiren sollte, aufserdem aber könnte den Erfahrungen gemäfs die Repulsion desselben nicht hinreichen, um der Attraction der Wasserpartikeln Widerstand zu leisten, und die Vereinigung derselben zu einem massiven Kügelchen zu hindern. ROBISON [3] meint, sie müfsten mit Luft erfüllt seyn, und zwar einer ausgedehnteren, als worin sie schweben, weil sie sonst herabfallen würden. Diese Voraussetzung findet er zwar sehr unbegreiflich, glaubt indefs die wirkliche Existenz solcher Bläschen dennoch als unzweifelhaft annehmen zu müssen. Berücksichtigt man inzwischen die Art der Entstehung der Dunstbläschen, so läfst sich hieraus mindestens mit hoher Wahrscheinlichkeit der Inhalt derselben auffinden. Indem nämlich der gesättigte Wasserdampf auf die Oberfläche des Wassers gelangt, und hierdurch theils dem Drucke des Wassers entzogen wird, theils in die kältere Atmosphäre tritt, erhält er das Bestreben, sich stärker zu expandiren. Die latente Wärme wird hierbei nicht abgegeben, weil sie zu innig mit den Wasserpartikeln verbunden ist, wohl aber ein Theil der sensibelen, und ein diesem Verluste proportionaler Theil Dunstkügelchen fällt wieder in die Flüssigkeit zurück, welches mit den oben angegebenen Erfahrungen voll-

---

1 Lichtenberg zu Erxleben Naturl. p. 374.
2 Ann. Ch. P. XXIX. 57.
3 Mech. Phil. II. 13. Anm.

kommen übereinstimmt. Indem aber der Wasserdampf in die Zwischenräume der Luft eindringt, und hierbei zugleich der sensibele Wärmestoff sowohl als auch der latente ihn zu verlassen, und an die kältere Atmosphäre überzugehen sollicitirt wird, so kommt dieses sein Bestreben zugleich in Conflict mit seiner Anziehung gegen die Wasserpartikelchen. Diejenigen dieser letzteren nun, denen ein Theil Wärme entzogen ist, vereinigen sich theils zu concreten Körperchen, theils zu Häutchen, wenn eine solche Entziehung in ihrer ganzen Umgebung statt findet; insbesondere aber wird der sensibele Wärmestoff in dem Dampfe, welcher eine gröfsere Ausbreitung erhält, latent werden, und in sofern hierzu eine gewisse, wenn auch sehr kurze Zeit erforderlich ist, so wird ein nicht gesättigter, mithin dünnerer und leichterer Dampf gebildet werden, welcher aufsteigt, und die hierdurch zugleich mit gebildeten Dunstkügelchen mit sich in die Höhe hebt. Während nämlich dem Dampfe durch die Umgebung ein Theil der Wärme entzogen wird, mufs dieser in gleichem Verhältnisse auch abgekühlt und partiell niedergeschlagen werden, dadurch aber wird tropfbar flüssiges Wasser frei, welches durch seine, bei allen Verdampfungsprocessen auffallende Affinität zum Wärmestoffe diesen wieder anzieht, durch ihn expandirt wird, und in die Höhe steigt, während bei diesem Aufsteigen der eben genannte Procefs des wechselseitig modificirten Betsrebens nach Entbindung und Bindung des Wärmestoffes (je nachdem er durch die umgebende kältere Luft oder den sich zunehmend mehr abkühlenden Wasserdampf und das niedergeschlagene Wasser stärker angezogen wird) stets fortdauert. Ist daher die Entziehung des Wärmestoffes sehr stark, so dafs die Affinität desselben zu den Wasserpartikeln überwunden wird, wie beim sogenannten Beschlagen (Feuchtwerden) sehr kalter Körper, vorzüglich wenn sie in einem gewissen Sinne gute Wärmeleiter sind, bei den zahlreichen meteorischen Niederschlägen, und insbesondere bei dem durch Maupertuis [1] in Torneå beobachteten Phänomene, dafs die in eröffnete Thüren oder Fenster erwärmter Zimmer eindringende kalte Luft die Dünste augenblicklich in einen dicken wirbelnden Schnee verwandelte, so wird der Wasserdampf in Dünste und dann in

---

1 Gehler a. A. III. 659.

tropfbares Wasser oder gar Eis verwandelt werden. Wenn dagegen der Raum, in welchen sich der Dampf ausbreitet, nicht zu kalt und zugleich nicht mit Dampf überfüllt ist, so wird zwar eine der Temperatur und Trockenheit desselben umgekehrt proportionale Menge Dunst niedergeschlagen werden, und zum Theil in die Flüssigkeit zurücksinken, die bei weitem gröfsere Menge desselben wird indefs allmälig wieder expandirt werden, indem theils der sensibele Wärmestoff, theils der gröfste Theil des latenten und beim Eintritte in die atmosphärische Luft dem Dampfe entzogenen wieder latent und zur völligen Expansion des Dunstes verwandt wird, während die sichtbaren Dunstbläschen allmälig eine durch vielfache Umstände bedingte Höhe erreichen, und fortdauernd mehr und mehr aus dem Zustande der Undurchsichtigkeit in den Zustand einer der Luft gleichen Durchsichtigkeit übergehen.

Durch diese Darstellung ist der sehr zusammengesetzte Procefs genau so angegeben, wie die Natur ihn oft und vielfach zeigt. Umgekehrt analog ist der entgegengesetzte, wenn der wirklich expandirte Dampf durch Verminderung der Temperatur in Dunst verwandelt wird, z. B. bei der Bildung des Nebels und der Wolken, und dann entweder zu tropfbarem Wasser übergeht, oder durch Zuflufs neuer Wärme den Zustand völliger Expansion wieder annimmt. Dafs in diesem Falle neue Wärme hinzukommen, und der Umgebung entzogen werden müsse, weil der zur Expansion weiter erforderliche sensibele Wärmestoff nicht auf gleiche Weise, oder vielmehr in gleicher Menge vorhanden ist, wie in dem Falle, wenn heifser Dampf aus einer erhitzten Flüssigkeit in die kältere Atmosphäre tritt, liegt in der Natur der Sache. Wenn nämlich heifser Dampf in eine kältere Atmosphäre übergeht, so verliert er durch diese diejenige sensibele Wärme, welche ihm die der höheren Temperatur zukommende Expansion gab, und indem hierdurch die Theilchen desselben einander näher gebracht werden, entstehen theils massive Wasserkügelchen, theils Dunstbläschen. Indem aber die Luft diese sensibele Wärme aufgenommen hat, der Dampf aber dadurch mehr abgekühlt wird, so entzieht er als Dunst jener die Wärme wieder, bis seine Temperatur und die derselben zugehörige Elasticität mit der Temperatur der Luft im Gleichgewichte sind, wodurch nach den Gesetzen der Dampfbildung

die vollständige Expansion des Dunstes ohne das Hinzukommen neuer Wärme bewirkt wird. Ist aber durch Entziehung von Wärme einmal Dunst gebildet, welcher nebst dem Dampfe die Temperatur der Luft angenommen hat, dann muſs aus einer äuſseren Quelle Wärme hinzukommen, um den Dunst zu expandiren und in Dampf zu verwandeln. Ob in beiden Fällen bloſs kleine massive Wasserkügelchen oder zugleich auch hohle Dunsthüllen gebildet werden, kann zwar aus theoretischen Gründen nicht entschieden werden, wir müssen indeſs in Gemäſsheit der genauen Beobachtungen annehmen, daſs die gröſseren sichtbaren Kügelchen hohle Dunsthüllen sind, und es liegt nun nur noch die Frage vor, woraus ihr Inhalt bestehe, und wie sich das Aufsteigen derselben, den statischen Gesetzen zuwider, erklären lasse.

Aus demjenigen, was so eben über die Bildung des Wasserdunstes gesagt ist, wird es im höchsten Grade wahrscheinlich und folgt fast nothwendig, daſs die Dunsthüllen mit Wasserdampf erfüllt, und mit einer hieraus bestehenden Atmosphäre umgeben sind. Dieser Wasserdampf, sowohl der eingeschlossene als auch der umgebende, ist nach der gegebenen Darstellung auſserdem nicht im Maximo seiner Dichtigkeit, vielmehr fehlt ihm zum Gesättigtseyn gerade so viel, als hinreicht, den in tropfbares Wasser übergegangenen Dampf zu expandiren. Diese Folgerung ist nothwendig. Denn wenn man die bekannte Erfahrung erklären will, daſs der Dunst beim Aufsteigen völlig expandirt wird, ohne aus einer andern Quelle als aus sich selbst den hierzu erforderlichen Wärmestoff zu erhalten, so muſs dieser Wärmestoff in demjenigen Dampfe enthalten seyn, welcher in die Dunstkügelchen eingeschlossen ist und dieselben umgiebt. Hiermit ist nun zugleich der Proceſs des Aufsteigen dieses Dunstes zum Theil erklärt, wenn man sagt, daſs eine Mischung aus kleinen Theilchen niedergeschlagenen Wassers und Dampfes unter dem Maximo seiner Dichtigkeit eben so gut aufsteigen müsse, als wirklich expandirter Dampf, in so fern in jener die Elemente des Wassers und der Wärme in gleichem quantitativen Verhältnisse vorhanden sind, als in diesem, weswegen auch das specifische Gewicht beider nothwendig gleich seyn muſs. Uebereinstimmend hiermit bemerkt man ferner, daſs diejenigen Dunstkügelchen, welchen beim Emporsteigen des Dampfes aus einer

erhitzten Flüssigkeit die Wärme durch die äufsere Umgeb[illegible]
entzogen wird, wieder in die Flüssigkeit zurückfallen, desgl[illegible]
chen dafs der über einer heifsen Flüssigkeit entstehende Du[illegible]
wegen des beigemischten sensibelen Wärmestoffes stets aufste[illegible]
anstatt dafs der in der Atmosphäre durch Niederschlag gebil[illegible]
te, welchem dieser Wärmestoff abgeht, meistens das Bestre[illegible]
zeigt, herabzusinken, und nur vermöge seiner geringen M[illegible]
in der Luft schwebend erhalten wird. Man könnte also [illegible]
die Sache so ausdrücken: der Wasserdunst steigt deswegen [illegible]
die Höhe, weil er eine unter sich gleichsam zusammenhäng[illegible]
Masse von Theilchen bildet, welche theils specifisch leich[illegible]
theils specifisch schwerer sind, als die Luft, deren mittl[illegible]
specifisches Gewicht aber geringer ist, als das der atmosph[illegible]
schen Luft. Hierbei mufs dann allerdings eine gewisse An[illegible]
hung, ein gewisser Zusammenhang zwischen den verschied[illegible]
Bestandtheilen des Dunstes hypothetisch vorausgesetzt werd[illegible]

Aus einem solchen Zusammenhange liefse sich dann [illegible]
folgern, dafs selbst kleine dichte Wasserpartikelchen mec[illegible]
nisch in die Höhe gehoben werden könnten, wenn man i[illegible]
Durchmesser verschwindend klein annähme. Hierüber b[illegible]
indefs die Erfahrung keine Gewifsheit dar, indem solche [illegible]
allen Fall mit unbewaffnetem Auge gar nicht, und durch [illegible]
Loupe bei der Unbequemlichkeit der Beobachtung schwe[illegible]
sichtbar seyn würden. So viel läfst sich mit hoher Wa[illegible]
scheinlichkeit vermuthen, dafs bei der Schnelligkeit, we[illegible]
sich der Dampf häufig aus den Flüssigkeiten erhebt, nothw[illegible]
dig massive Tropfen fortgerissen werden müssen, insbeson[illegible]
wenn man berücksichtigt, dafs beim schnellen Eröffnen [illegible]
Ventiles eines Papinischen Digestors bedeutende Mengen Wa[illegible]
in die Höhe geschleudert werden, und als kalte Tropfen wie[illegible]
herabfallen [1]. Weiter lassen sich indefs diese möglicher [illegible]
wahrscheinlicher Weise zwischen dem Dunste schweben[illegible]
Wasserpartikelchen nicht untersuchen, ihre Existenz und B[illegible]
schaffenheit bleibt immer ungewifs, weil es durchaus an [illegible]
Thatsachen fehlt, worauf mit Grunde ein Urtheil gebauet we[illegible]
den könnte.

---

1 Vergl. *Dampf, latente Wärme desselben* Th. II. S. 3[illegible]

Etwas weiter läſst sich die Untersuchung der hohlen Wasserkügelchen noch treiben, deren Existenz den Beobachtungen nach nicht wohl zu bezweifeln ist, und welche auch in so fern wichtiger sind, als sie die alleinigen, oder auf allen Fall vorzüglichsten und meisten Bestandtheile des Dunstes ausmachen. Abstrahirt man von dem problematischen Antheile, welchen die umgebende Dampfatmosphäre an ihrem Aufsteigen haben mag, und betrachtet dieselben als kleine Aërostaten mit Dampf gefüllt, so läſst sich aus ihrem bekannten Durchmesser die Dicke des Wasserhäutchens nach der oben gegebenen Formel finden. Die Gröſse dieses ihres Durchmessers, wie ihn Kratzenstein angiebt, liegt nahe in der Mitte zwischen den beiden Angaben de Saussüre's, und wir können sie daher füglich bei der Berechnung zum Grunde legen. Die Dichtigkeit des Wassers gegen Luft mit Rücksicht auf die Ausdehnung beider durch die Wärme, in welcher der Proceſs stattfindet, läſst sich in genähertem Werthe $= 800 : 1$ annehmen, die Bestimmung des Verhältnisses der Dichtigkeit des Dampfes gegen Luft kann aber mit Genauigkeit nicht gegeben werden, indem derselbe mit der Verminderung der Temperatur stets dünner wird. Indem aber dieses Verhältniſs in der Siedehitze $= 0{,}655 \ldots : 1$ ist, der Wasserdunst aber in bedeutend niedrigerer Temperatur noch sichtbar ist, so wird man sich von der Wahrheit nicht weit entfernen, wenn man $0{,}5 : 1$ als mittleres Verhältniſs annimmt. Hiernach wären in der oben angegebenen Formel $d = \frac{1}{3600}$; $m = 800$; $l = 1$ und $\lambda = 0{,}5$ mit welchen Bestimmungen man die Dicke des Häutchens in Zollen $x = 0{,}0000002916$ oder in Linien $x = 0{,}00000035 = \frac{1}{28}$ Millionth. einer Linie erhält, allerdings eine verschwindende Gröſse, wie auch der Natur der Sache nach nicht anders seyn kann. Solche Kügelchen also, deren Durchmesser $\frac{1}{300}$ und deren Hülle $\frac{1}{28}$ Milliontheilchen einer Linie beträgt, werden durch das im Verhältniſs von $0{,}5 : 1$ geringere spec. Gewicht des eingeschlossenen Dampfes in der atmosphärischen Luft bei mittlerem Barometerstande und nahe an der Oberfläche der Erde statisch in der Luft schwimmen. Daſs sie sich aber mit einer verhältniſsmäſsig nicht unbedeutenden Geschwindigkeit erheben, ist eine Folge theils der sie umgebenden Atmosphären von specifisch leichterem Dampfe, wie eben gezeigt ist, theils auch davon, daſs so-

wohl der eingeschlossene Dampf als auch der sie umgebende fortwährend mehr expandirt und somit specifisch leichter wird, ohne welche Bedingung ein Aufsteigen in die höheren Regionen und ein Schweben der Dunstkügelchen daselbst unmöglich wäre. Zugleich aber werden die Hüllen der Dunstkügelchen durch den sensibelen Wärmestoff des Dampfes stets mehr aufgelöset und dünner, bis sie endlich in völlig expandirten, durchsichtigen Dampf übergehen. Die mit dem Wesen des Dunstes anscheinend im Widerspruche stehende Undurchsichtigkeit des Dunstes endlich, und die Reflection des Lichtes von Wolken und Nebel, kann aus der großsen Menge von Flächen, welche die Lichttheilchen oder Lichtwellen auf ihrer Bahn antreffen, leicht erklärt werden [1].

Dasjenige, was hier zunächst über den Dunst des Wassers gesagt ist, paſst mit geringen Abänderungen auch auf die Dünste von anderen Flüssigkeiten, z. B. von Weingeist, Aether u. dgl. m. Oft ist der Wasserdunst mit andern Substanzen verunreinigt, wie z. B. mit Säuren, Ammoniak, Kohlenstoff u. dgl., bis er in eigentlichen Rauch übergeht, welcher indeſs seiner verschiedenen Beschaffenheit wegen vom Dunste zu unterscheiden ist [2]. Ob endlich die dunst- und rauchartigen Substanzen, welche von verschiedenen verbrennenden Körpern aufsteigen, z. B. vom brennenden Schwefel, Phosphor, den Metallen u. dgl. eigentliche Dünste, d. h. bläschenförmige Körper sind, und welches die Ursache ihres Aufsteigens seyn mag, darüber läſst sich wegen des Mangels einer genaueren Kenntniſs derselben für jetzt noch kein Urtheil fällen. Noch kann hier eines interessanten Phänomens gedacht werden, welches Robison [3] erwähnt, ich selbst aber weder aus eigener Erfahrung kenne, noch auch sonst irgendwo angeführt gefunden habe. Wenn man gegen die Oberfläche von siedendem oder dem Sieden nahe erhitztem Leinöle in schräger Richtung mit einem Löffel schlägt, so zerstiebt es in eine prodigiöse Menge äuſserst kleiner Bläschen, welche eine geraume Zeit in der Luft schwimmen [4]. *M.*

---

1 Vergl. *Durchsichtigkeit.*

2 S. *Rauch.*

3 Mechan. Phil. II. 13. Anm.

4 Auſser der angegebenen Literatur vergl. G. W. Kraft diss. de

Duplicator der Elektricität.

Elektricitäts-Verdoppler; *Duplicator electricitatis*; Doubleur de l'électricité; *Doubler of electricity*.

Unter diesem Namen hat der Engländer Bennet, welcher durch die Erfindung des so äufserst empfindlichen Goldblattelektrometers bekannt ist [1], eine sinnreiche ausgedachte Geräthschaft angegeben, welche gleich dem *Collector* und *Condensator* zum Zwecke hat, eine kleine und an sich auch an dem empfindlichsten Elektrometer nicht bemerkbare Quantität von Elektricität so lange zu vervielfältigen, bis sie hinreichend an Spannung zugenommen hat, um ein Elektrometer zu afficiren, selbst Funken zu geben, und andere Wirkungen einer stärkeren Elektricität hervorzubringen.

Dieser Apparat besteht aus drei Messingscheiben A, B, C, deren jede ohngefähr 3 bis 4 Zoll im Durchmesser hat. Die erste Scheibe A wird als eine Art von Deckel auf das Blattgold-Elektrometer aufgeschraubt, kann aber auch sonst in horizontaler Stellung von irgend einem isolirenden Gestelle getragen werden, und blofs ihre obere Seite ist überfirnifst. Die zweite Scheibe B ist auf beiden Seiten mit Lackfirnifs überzogen und mit einem isolirenden Handgriffe versehen, der seitwärts an dem Rande derselben befestigt ist. Die dritte Scheibe C ist nur auf der untern Stelle mit Firnifs überzogen, und auch mit einem Handgriffe versehen, der lothrecht auf ihrer Oberfläche steht. Fig. 197.

Man bedient sich dieses Apparates auf folgende Weise. Die Platte B wird auf A gelegt; die kleine Quantität der Elektricität, welche vervielfältigt werden soll, wird dem untern Theile der Scheibe A mitgetheilt, und zu gleicher Zeit wird der Rand der Scheibe B, der nicht überfirnifst ist, mit dem Finger berührt. Alsdann wird zuerst der Finger weggezogen, und hernach die Platte B von der Platte A. Nun wird die Platte C auf B gelegt, und ihre obere Fläche auf eine kurze Zeit mit dem

---

vaporum et halituum generatione. Tub. 1745. 4. Achard in J. de Ph. XV. 463.

1 Philos. Trans. LXXXII.

Finger berührt. Aus den Gesetzen der elektrischen Vertheilung ergiebt sich, daſs wenn die der Platte A mitgetheilte Elektricität + E ist, die Platte B — E, die Platte C aber + E wie A erhalten haben muſs. Die Platte B wird nun wieder von C abgesondert, und wie zuvor auf A gelegt. Der Rand von C wird mit dem untern Theile von A in Berührung gebracht, und zu gleicher Zeit der Rand von B mit dem Finger berührt. Dadurch erlangt die Platte B, indem sie durch die Wirkungskreise der beiden Platten A und C zugleich beschäftigt wird, fast doppelt soviel Elektricität, als das erstemal. Legt man nachher die Platte C auf B, und berührt ihre Oberfläche mit dem Finger, so wird auch diese Platte verhältniſsmäſsig mehr elektrisirt, als zuvor; und so wird bei immer öfterer Wiederholung des beschriebenen Verfahrens die Elektricität nach und nach bis zu dem erforderlichen Grade verstärkt werden. Der Firniſs auf den sich berührenden Oberflächen der Platten dient zu verhüten, daſs sich die Metallflächen nicht selbst berühren, in welchem Falle sie einander ihre Elektricität selbst mittheilen würden, welches man hier ganz vermeiden, und bloſs durch Vertheilung wirken will.

Man übersieht leicht, daſs der wesentliche Unterschied zwischen dem *Duplicator* und dem *Condensator* so wie auch dem *Collector* darin besteht, daſs ersterer auch eine Elektricität, nicht bloſs von zu geringer Spannung um unmittelbar auf das Elektrometer zu wirken, sondern auch von verhältniſsmäſsig sehr kleiner Quantität, sichtbar macht, daſs dieses Instrument demnach keinen Zufluſs von Elektricität aus einem gröſseren Vorrathe, oder einen relativ unerschöpflichen Quell zu seiner Wirkung voraussetzt, welcher dagegen beim Condensator bedingt ist.

G. Ch. Bohnenberger, einer der thätigsten deutschen Elektriker [1], giebt umständliche Anleitung, wie man sich diesen Bennetschen Duplicator ohne Mühe aus Pappe, die man mit Stanniol überzieht, verfertigen kann. Statt den Stanniol zu überfirnissen, legt er drei sehr kleine dünne Glasstückchen zwischen die untere und mittlere, und zwischen die mittlere

1 Beschreibung unterschiedener Elektricitäts-Verdoppler. Tübingen 1798.

und obere Scheibe, wie Lichtenberg beim Volta'schen Condensator in Vorschlag gebracht hatte. Allein das Reiben der Scheiben beim Aufsetzen und Abheben von diesen Glasstückchen erregt Elektricität, so daſs sich ohne Zuführen von Elektricität zur Scheibe A (selbst wenn die Scheiben von einander abgesondert über Nacht in feuchter Luft gestanden hatten, und nur kurz vor der Operation erwärmt wurden) endlich doch immer eine Explosion zeigte. Nahm Bohnenberger gar ganze Glasscheiben, so war die Reibung stärker, und die Explosion erfolgte eher. Um diesem abzuhelfen, befestigte er die mittlere Pappscheibe an drei Glasstäben in einem dicken Pappringe, setzte die oberste mit drei Glasfüſsen auf diesen Ring, so daſs sie in geringer Entfernung von der mittleren ihr parallel lag, und steckte die unterste an eine unter der Mitte des Pappringes stehende Glassäule, längs der sie sich hoch hinauf und hinunter schieben lieſs. So lieſsen sich die Scheiben gehörig nähern, ohne sich zu berühren, und die Luftschicht vertrat die Stelle der Firniſsschicht.

Dieselbe nachtheilige Wirkung, welche Bohnenberger von feinen Glasstückchen wahrnahm, wollte auch Cavallo schon früher von den Firniſsschichten, mit welchen in der von Bennet zuerst angegebenen Vorrichtung die Scheiben überzogen waren, bemerkt haben, daſs nämlich nicht bloſs die mitgetheilte Elektricität der zu untersuchenden Substanz, sondern auch die durch zufälliges Reiben der Firniſsschichten der Platten selbst beim Aufsetzen und Abheben entstandene ursprüngliche vervielfältigt werde. Cavallo hat, um diesen Fehler zu entfernen, folgende Verbesserung der Geräthschaft versucht. Er richtete drei Platten ohne allen Firniſs so ein, daſs sie sich einander nicht berühren konnten, sondern $\frac{1}{8}$ Zoll weit von einander entfernt bleiben muſsten. Jede Platte stand vertical, und ward von zwei Glasfüſsen getragen, die mit Siegellack überzogen waren. Die Platten selbst waren von starkem Zinn, und hatten ungefähr 8 Zoll im Durchmesser. Die Glasfüſse waren in ein Stück Holz eingeküttet, das in der Rückseite einer jeden Platte befestigt war, und standen unten in einem hölzernen Fuſsgestelle, welches etwas weniges vor der Platte hervorragte, damit, wenn man zwei solche Platten auf einem Tische neben

einander stellte, dadurch ihre völlige Berührung verhindert ward.

Ob nun gleich durch diese Vorrichtung, mit welcher im Grunde eben so, wie mit dem Bennetschen Verdoppler verfahren wird, alle Friction vermieden werden konnte, weil die Platten nicht auf einander lagen, und bei der Behandlung an dem hölzernen Fuſse angefaſst wurden, auch die Berührung mit dem Finger nicht unmittelbar an der Platte, sondern an einem auf der Hinterseite derselben angebrachten Zinndrahte geschah, so fand doch Cavallo diese Geräthschaft noch immer unbrauchbar zu genauen Versuchen. Denn wenn auch gleich keiner von diesen Platten irgend einige Elektricität mitgetheilt worden war, so wurden sie dennoch gleichsam von selbst nach einem 10 bis 15 höchstens 20 maligem Verdoppeln so voll von Elektricität, daſs sich selbst Funken daraus ziehen lieſsen. Alle Mittel, sie von dieser Elektricität zu befreien, waren vergeblich. Ob sie gleich einen ganzen Monat lang durch einen guten Leiter mit der Erde verbunden, unberührt stehen blieben, so zeigten sie doch am Ende dieser Zeit nach einem oftmaligen Verdoppeln noch immer einige Spuren einer in ihnen selbst befindlichen Elektricität, welche auch, wie sich nach gehöriger Untersuchung fand, nicht von dem Körper des Experimentators kam.

Cavallo fand sich endlich vollkommen überzeugt, daſs diese Platten allemal eine kleine Quantität Elektricität zurückbehalten, welche vielleicht von einerlei Art mit derjenigen ist, durch die sie zuletzt elektrisirt worden sind, und von der man sie unmöglich befreien kann. Er glaubt die Ursache hiervon in der verschiedenen Beschaffenheit der erregten Elektricität zu finden; dann wenn z. B. eine Platte ein geringes + E enthält und eine andere — E hat, so wird diejenige, welche sich am kräftigsten äuſserst, zu einer entgegengesetzten Elektricität in der andern Gelegenheit geben, und endlich eine Anhäufung der eigenthümlichen Art der Elektricität harvorbringen. Er schlieſst also, daſs man weder beim Gebrauche dieser Platten, noch bei der ursprünglichen Einrichtung Bennet's irgend ein zuverlässiges Resultat erhalten dürfe. Und eben dieses gab ihm die Veranlassung, seinen bloſs mit einer einzigen isolirten Platte versehenen *Collector* zu erfinden, welcher bereits oben beschrieben ist, und im Grunde nichts anderes ist, als ein etwas

abgeänderter Volta'scher Condensator und auf keinen Fall die Stelle eines *Duplicators* vertreten kann, da er, um Elektricitäten von schwacher Intensität bemerklich zu machen, stets eine grofse Quantität derselben erfordert, während der Duplicator auch die kleinsten Quantitäten von Elektricität, wie sie z. B. an einem einzelnen Körper von geringem Umfange vorhanden seyn könnten, bemerklich machen soll und kann. Wir werden am Ende dieses Artikels auf diese Unsicherheit des Duplicators noch einmal zurück kommen.

Duplicator mit einem Mechanismus.
Revolving Doubler.

Ohngeachtet das Verfahren beim gewöhnlichen Duplicator nach der Bennetschen Einrichtung zur Vervielfältigung der Elektricität an sich einfach und ohne Schwierigkeit ist, so will es doch gelernt und eine Zeit lang geübt seyn. Man hat daher Einrichtungen dieses Apparats erdacht, welche durch einen Mechanismus diese Uebung entbehrlich zu machen und gleichsam zu ersetzen im Stande sind. Nach dem Berichte Nicholsons scheint Darwin der erste gewesen zu seyn, der im Jahre 1787 einen Duplicator aus vier Platten verfertigte, wovon zwei vermittelst eines Räderwerks in Lagen gebracht wurden, worin man sie mit dem Finger berühren mufste, um den gewünschten Erfolg zu erhalten. Nicholson erfand aber eine viel einfachere Art, vermittelst einer blofsen Kurbel diese Bewegungen hervorzubringen, und theilte der Londner Societät im Jahre 1788 eine Beschreibung eines solchen drehbaren Duplicators (*revolving Doubler*) in einem Briefe an den Ritter Banks mit [1]. Fünf Jahre darauf 1793 gab Joh. Read sein Summary of the spontaneous electricity of the earth and atmosphere heraus, in dessen 4tem Kapitel er dasselbe Instrument mit einigen kleinen Veränderungen wieder bekannt machte, und eine Abbildung davon mittheilte, welche erst im Jahre 1798 auf dem Festlande allgemeiner bekannt wurde [2]. Wir theilen diese Be-

---

1 Philos. Transactions for 1788. II. 403 — 437. Vergl. den Auszug davon nebst der Abbildung in Grens Journal II. 61.

2 Bibliothèque britannique Jahrgang 1798, und aus dieser in den Annales de Chemie. Tome XXIV. 327.

schreibung und zugleich die perspectivische Abbildung hier mit. Derjenige Duplicator, welchen die Herausgeber der Bibl. brit. vor sich hatten, war 10 Zoll hoch, und bestand ganz aus Messing und Glas. Zum Fuſse dient eine massive Glassäule, welche den auf sie befestigten messingenen Würfel Q hinreichend isolirt. In einer sehr genau gearbeiteten Hülse dieses kubischen Stückes dreht sich die Welle L O so gedrängt, daſs sie nicht wankt. Der hintere Theil derselben P O besteht aus Messing, und endigt sich in eine hohle Kugel aus Messingblech D; der vordere Theil L P ist ein massiver Glasstab, und trägt in L eine messingene Kurbel L V, vermittelst welcher die Welle gedreht wird. A B und C sind drei von Glasstäben getragene Messingscheiben; ihr Rand und das Messingstück, welches sie auf die Glasstäbe befestigt, sind, um das Ausströmen möglichst zu verhindern, überall aufs Beste abgerundet. Die beiden unbeweglichen Scheiben A und C sind an die gebogenen Glasstäbe M und N befestigt, und von ihrem hintern Theile gehen zwei Drähte x und z herab, woran sehr empfindliche Elektrometer b, b' hängen. Um die Flachsfäden dieser Elektrometer recht fein zu erhalten, ist es am besten, sie von der Pflanze selbst abzustreifen, und zu spalten, bis sie fast in der Luft schweben, und sie dann mit starkem Leim zu steifen, damit sie sich nicht drehen und durchkreuzen. Die dritte Messingscheibe B ist vermittelst des Glasstabes r s an eine Hülse befestigt, die auf den messingenen Theil der Welle aufgeschoben und fest geschraubt ist, so daſs sie sich zugleich mit dieser umdreht; eine kleine Messingkugel W an der entgegengesetzten Seite der Hülse dient ihr zum Gegengewicht. Auf eine ähnliche Art ist an den gläsernen Theil der Welle vermittelst der Hülse t ein Messingstab g h so angebracht, daſs bei jeder Umdrehung die feinen Drähte, die aus seinen Enden hervorgehen, gegen den untern horizontalen Arm der Drähte x und z schlagen. Die beiden Theile der Welle diesseits und jenseits des kubischen Stücks Q sind genau gegen einander abgewogen, so daſs der Schwerpunct der Welle mitten in den Kubus Q fällt. Die Scheiben A und C stehen genau in derselben Ebene, senkrecht auf der Achse, und auch die Scheibe B wird senkrecht auf die Achse gestellt, so daſs sie im Umdrehen dicht vor den beiden ersteren Scheiben, doch ohne sie zu berühren, vorbeigeht. Die feinen Drähte, in die sich so-

Fig. 198.

wohl der Messingdraht g h endigt, als auch die Drähte f d, welcher auf dem kubischen Stücke Q, und p welcher auf dem Messingtheile P der Welle aufsitzt, lassen sich nach Willkür adjustiren und biegen. Man stellt sie so, dafs im Augenblicke, da die umlaufende Scheibe B der festen A genau gegenübersteht, die mit den Scheiben A, C in Verbindung stehenden Messingstäbe x, z, von den Drähten g und h, und zugleich die umlaufende Scheibe B vom Drahte f d berührt wird, da dann die erstere unter sich, und die letztere mit der Messingkugel D (vermittelst des messingenen Theils der Welle P O) in leitender Verbindung steht, und dafs endlich, wenn die Achse so weit fortgedreht ist, dafs B der andern festen Scheibe gegenübersteht, der Draht p gegen diese Scheibe C schlägt, und sie dadurch gleichfalls mit der Kugel D in leitende Verbindung setzt. In jeder andern Lage sind die Scheiben und die Kugel aufser aller leitenden Verbindung unter einander.

Man theilt die Elektricität, welche verdoppelt werden soll, (z. B. die Elektricität einer einmal durch die Hand gezogenen Glasröhre) der Kugel D mit. Wenn nun die Scheibe B der festen A gegenübersteht, so berührt sie der Draht f d und setzt sie mit der Kugel D in leitende Verbindung, jene Elektricität theilt sich also der Scheibe B mit. Zu gleicher Zeit bilden dann die beiden unbeweglichen Scheiben A und C vermöge des Stabes gh eine zusammenhängende Metallmasse, die durch Vertheilung elektrisirt wird, indem die Elektricität in der Scheibe B die gleichnamige aus der gegenüberstehenden A hinaus in das andere Ende der Metallmasse, d. h. in die Scheibe C treibt, so dafs A — E und C + E erhält. Dabei wirkt aber das — E der Scheibe gerade so auf die Scheibe B und die damit verbundene Kugel zurück, und häuft fast alles + E aus der Kugel in der Scheibe B an. Kommt nun diese der Scheibe C gegenüber, die in dem Augenblicke von dem Drahte p berührt und mit der Kugel D zu einer leitenden Masse wird, so elektrisirt B eben so wieder diese Masse durch Vertheilung, und das + E wird aus ganz in die Kugel D getrieben, somit also eine doppelte Menge, als vorher, angehäuft. Kommt folglich B wieder in die erste Lage der Scheibe A gegenüber, so kann ihr die Kugel abermals Elektricität ertheilen, A wird also noch stärker negativ und C positiv elektrisch, und daher wird in der zweiten Lage der

beweglichen Scheibe B, der Scheibe C gegenüber, wiederum mehr Elektricität in die Kugel D getrieben. So geht es beim fernern Drehen fort, in der Kugel und der Scheibe B wird die zugeführte, in A die entgegengesetzte Elektricität immer stärker angehäuft, bis endlich ihre Intensität so stark wird, daſs sich ihre Schlagweite bis auf die Entfernung, in welcher B vor A vorbeigeht, erweitert. Dann entsteht eine Entladung zwischen beiden Scheiben, und das elektrische Gleichgewicht stellt sich mit einem kleinen Funken wieder her. Bei Elektricitäten, wie man sie mit dem Duplicator zu untersuchen pflegt, sind 15 bis 20 Umdrehungen mehrentheils hinlänglich, eine Explosion zu bewirken. Die Elektrometer pflegen schon bei der ersten Umdrehung zu divergiren.

Der Hauptunterschied zwischen diesem *drehenden* Duplicator und dem *einfachen* Bennet'schen ist, daſs in letzterem der elektrische Zustand der Scheiben durch Zuleitung und Ableitung elektrischer Materie von auſsen her entsteht, indem entweder die Finger oder leitende Drähte eine Verbindung mit dem Erdboden machen, während im Nicholson'schen Verdoppler der elektrische Zustand der Scheiben allein durch Vertheilung ihrer eigenthümlichen Elektricität hervorgebracht wird, obgleich auch hier eine Mittheilung in so ferne vorgeht, als das, was die eine verliert, nach der andern getrieben wird. Daſs durch eine Galvanische Einwirkung der Finger auf die Metallscheiben im ersten Falle eine fremdartige Elektricität erzeugt und eine Täuſchung hervorgebracht werden kann, die bei der letzten Einrichtung abgeschnitten ist, darf nicht ganz auſser Acht gelassen werden [1].

Merkwürdig ist es, daſs nach Bohnenberger's Versuchen [2] sich im Bennet'schen Verdoppler in der Regel die Zeichen der Verdopplung etwas eher als im Nicholson'schen äuſsern, und daſs er weniger Operationen, als dieser, erfordert. Als z. B. Bohnenberger in beiden einer Scheibe so viel möglich eine gleiche Quantität elektrischer Materie mitgetheilt hatte, zeigten sich beim Bennet'schen Duplicator die ersten Fünkchen schon bei der ach-

---

1 s. weiter unten.

2 s. die oben angeführte Schrift.

ten bis zehnten und die Explosion bei der 12ten bis 15ten Berührung der mittleren Scheibe B, bei seinem Nicholson'schen Duplicator (der nur in einigen Stücken der mechanischen Manipulation von dem eben beschriebenen etwas abwich) waren erst nach 20 bis 25maligem Hin- und Herschieben Zeichen der Verdoppelung sichtbar und nach 30 bis 40maliger erfolgte erst die Explosion. Bei genauer Erwägung des Gesetzes, nach welchem diese beiden Instrumente verdoppeln, sollte man indessen diese Verschiedenheit nicht erwarten [1].

Es verdient hier noch eine leicht auszuführende Veränderung in der Einrichtung des Nicholson'schen Duplicators, welche Bohnenberger angegeben hat, eine nähere Beschreibung und Abbildung, da ich mich selbst von der Brauchbarkeit eines nach dieser Vorschrift verfertigten Instruments zu überzeugen Gelegenheit gehabt habe. Das Brett A, welches zum Fuſsgestell dient, ist 10 Z. lang, 4 Z. breit und ½ Z. dick, und die in demselben befestigte Säule ist folgendermaſsen eingerichtet, um dadurch die drehende Bewegung der Scheiben zu Stande zu bringen. Der untere Theil B ist 2¼ Z. hoch und 1¾ Z. dick, und geht in einen Zapfen aus, der 5 Z. lang und 8 Lin. dick, und dessen oberes Ende schraubenförmig eingeschnitten ist. Auf diesen obern Theil sind zwei durchbohrte Stücke C und D aufgestellt, jedes 2,5 Z. dick und 2 Z. hoch, und zwischen beiden befindet sich ein Ring L, 0,5 hoch, der vermittelst der Stellschraube M angedrückt werden kann. Der 2,5 Z. lange massive Glasstab a, welcher die zwei Zoll im Durchmesser haltende und 0,5 Zoll dicke mit Stanniol überzogene Pappscheibe F trägt, ist in diesem Ringe befestigt. Der Glasstab b, an welchem die mit Stanniol überzogene Pappscheibe G von gleichem Durchmesser und ungefähr 4 L. dick sitzt, ist in das Stück C, und der Glasstab c der oberen gleichen Scheibe E in das Stück D befestigt, und zwar so, daſs G und F, so wie F und E um eine Linie senk-

Fig. 199.

1 Vergl. G. IX. 141. 142. wo durch eine einfache Berechnung nachgewiesen ist, daſs wenn man die der untern Scheibe des Bennet'schen Verdopplers mitgetheilte El. 1. setzt, nach 10maliger Operation diese Elektricität zu $2^{10} = 1024$mal verstärkt worden ist, beim Nicholson'schen Duplicator dieselbe 10mal wiederholte Operation die Elektricität auf $2^{10} - 1 = 1023$mal vervielfältigt hat.

recht von einander entfernt bleiben, zugleich aber die obere Scheibe E, wenn die unteren F und G gerade über einander stehen, um einen Zoll weit nach horizontaler Richtung von ihnen absteht. (Bei dem nach meiner Angabe ausgeführten Instrumente sind in den Säulenstücken C und D Nuten angebracht, in welchen sich Messingstücke mit den Glasstäben, von denen die Scheiben getragen werden, auf und abbewegen lassen, so dafs die Metallscheiben einander so nahe als möglich gebracht, aber auch in gröfseren Entfernungen von einander gestellt werden können, wodurch man die Vervielfältigungskraft des Duplicators abändern kann.) Das massive Glasstäbchen H 3,5 Zoll hoch, trägt eine von Pappe verfertigte, und mit Stanniol überzogene Kugel von 2 Z. im Durchmesser (besser von hohlem Messing), das Glassäulchen I vermittelst eines kleinen hölzernen Aufsatzes den Draht e, der durch den Aufsatz durchgesteckt ist, und dessen in Ringe gebogene Enden die beiden beweglichen Scheiben E und G berühren, wenn sie in der Stellung sind, welche die Figur abbildet, und endlich der 6 Z. lange Glasstab d, der in das Stück D, nahe unter dessen oberem Ende befestigt ist, trägt auf eine ähnliche Art das hölzerne Stück g, und vermittelst desselben den durchgesteckten Draht f, dessen beide Endringe (oder statt dieser kleine Kugeln) in der Stellung, welche die Figur vorstellt, die Kugel und die feste Scheibe F berühren. Wird dagegen die Scheibe E senkrecht über F gebracht, so tritt sie und die Scheibe G, die sich zugleich mit ihr dreht, vom Drahte e, und zugleich der Draht f von der Kugel und der Scheibe F zurück, und dafür kommt der Draht h, der in den Rand der obern Scheibe E eingelassen ist, eine angemessene Länge hat, und sich in einen Ring oder kleine Kugel endigt, mit der gröfsern Kugel in Berührung. Der Handgriff K, vermittelst dessen die Stücke C und D stets zugleich gedreht werden, ist in das Stück D mit einem Zapfen festgemacht, und unten mit einem Ausschnitte versehen, in welchem ein Zapfen steht, der in das Stück C eingesetzt ist, damit sich der Handgriff zugleich mit D abnehmen und wieder aufstecken lasse. Doch kann man auch beide Zapfen in den Handgriff selbst einsetzen, und ihn so einzeln aufstecken und abnehmen. Zu oberst auf die Säule B wird noch ein gewölbter Aufsatz N aufgeschraubt. Das Ganze würde sich sehr geschmeidig und niedlich aus Mes-

sing machen lassen, doch müſsten die Scheiben, damit man sie gut an die Glasstäbchen befestigen könne, hohl und trommelförmig gemacht, und inwendig in sie, so wie auch auf die Stükke C, D und L Röhrchen für die Glasstäbe eingelöthet werden. Die Säule B müſste von abgedrehtem und gut polirtem Stahle gemacht, und in einen Fuſs von Mahagonyholz geschraubt werden.

Man sieht leicht, daſs die ganze Operation mit diesem Instrumente in einem Hin- und Herdrehen der beiden beweglichen Scheiben vermittelst des Handgriffs besteht. Wird in der Stellung, welche die Figur abbildet, der Kugel ein schwacher Grad von positiver Elektricität mitgetheilt, so treibt die Scheibe F, die durch den Draht f mit der Kugel zusammenhängt, aus der darunter befindlichen Scheibe G einen Theil des dieser Scheibe eigenthümlichen + E durch den Draht e in die obere Schale hinein, welche dadurch positiv wird, aber in einem Grade, der noch auf kein Elektrometer wirkt. Wird nun beim Drehen die Verbindung der Scheiben unterbrochen, so bleiben G negativ, F und E positiv elektrisch; und kommen E und F senkrecht über einander, und zugleich E mit der Kugel in Verbindung, so wird ihr + E durch den Draht e in die Kugel getrieben. Beim Zurückdrehen kann also F wieder mehr + E aus der Kugel erhalten, treibt also noch etwas aus der Scheibe G in die obere, und diese führt es dann wieder der Kugel zu, und so geht die Operation weiter, bis F und G durch eine Explosion das elektrische Gleichgewicht wieder herstellen.

Ich habe schon oben bemerkt, daſs Cavallo den Bennet'schen Duplicator als ein unsicheres Instrument erkannte. Dasselbe fand auch Bohnenberger selbst bei dem von ihm verbesserten Bennet'schen Duplicator, wo wenigstens die Reibung der Scheiben mit ihren Firniſsschichten an einander oder an den zwischen gelegten Glasstückchen nicht im Spiele seyn konnte. Durch kein Mittel und keine Vorsicht (er mochte die Scheiben und Glasfüſse der Flamme von brennendem Papier aussetzen, oder sie wiederholt anhauchen, oder sie Tage, ja Monate lang durch einen guten Leiter mit der Erde verbunden stehen lassen) vermochte er ihnen alle Spuren von Elektricität so zu rauben, daſs sie sie nicht nach 10, höchstens 20maliger Verdoppelung gezeigt hätten, und die Art derselben war eben so veränderlich.

Immer behielten die Scheiben eine kleine Menge von Elektricität zurück, welche, wie CAVALLO meint, mit derjenigen gleichartig ist, durch die sie zuletzt elektrisch gemacht wurden, und von der man sie unmöglich befreien könne. CAVALLO suchte durch einen bestimmten Versuch die Zeitdauer dieses Anhaftens der schwachen Grade von Elektricität zu bestimmen. Ein sehr empfindliches Blattgold-Elektrometer, dem einige Elektricität mitgetheilt worden war, ward, während es dieselbe wieder verlor, durch ein kleines Teleskop betrachtet, durch dessen Mikrometer man die Chorde des jedesmaligen Winkels der Divergenz messen, und zugleich die Zeiten, welche zwischen jedem Paare der Beobachtungen verstrichen, bemerken konnte. Er erhielt dabei folgende Resultate. Wenn im Anfange der Beobachtung die Chorde des Divarications-Winkels = 16 war, so ward sie in einer Minute = 8, in $8\frac{1}{2}$ Minute darauf = 4, dann 17 Minuten hernach = 2, und erst nach $1\frac{1}{4}$ Stunde = 1. Schliefst man nun hieraus, die Zeiträume, welche zur Zerstreuung der Elektricität nöthig sind, wachsen zum wenigsten im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Dichtigkeit und Elektricität (welches dem Versuche nach gewifs keine übermäfsige Voraussetzung ist), so findet man durch eine ganz leichte Rechnung, dafs das Elektrometer ungefähr nach 2 Jahren noch den hundertsten Theil der beim Anfange des Versuchs ihm mitgetheilten Elektricität enthalten wird. Und wenn man gleich nicht weifs, wie weit eine Quantität Elektricität theilbar ist, so meint CAVALLO könne man doch nach dem Angeführten behaupten, dafs das Elektrometer viele Jahre lang elektrisirt bleiben werde[1]. Indessen ist hiergegen zu erinnern, dafs diese langsame Abnahme der Elektricität, wo beim Widerstande der Luft, die ein relativer Isolator ist, die Elektricität nur mit grofser Schwierigkeit entweichen konnte, keinen Schlufs auf ein ähnliches Verhalten unter ganz verschiedenen Umständen, wo nämlich die besten Leiter durch die innigste Berührung den leichtesten Abflufs gewähren, zuläfst. BOHNENBERGER giebt gleichfalls diese Ursache der Zweideutigkeit der Resultate des Verdopplers nicht zu, weil er bei dem rotirenden Nicholson'schen Verdoppler, und bei dem

1 Phil. Trans. 1788. I. und Grens Journal I. 49.

von ihm abgeänderten, oben beschriebenen, in wiederholten Versuchen auch nach 200 ja 250maliger Rotation doch keine Spur von Elektricität habe erhalten können, und wenn sie in seltenen Fällen erhalten worden sey, so schliefst er, dafs dann auf irgend eine Art in eine der Scheiben oder in die Kugel Elektricität von aufsen gekommen, oder in derselben, weil sie nicht gehörig lange Zeit mit dem Erdboden in leitender Verbindung war, zurückgeblieben sey. Ersteres könne um so leichter geschehen, weil das Abkehren oder Abwischen des Staubes von den Scheiben und ihren Glassäulen, wie gelinde und vorsichtig es auch geschehe, die Flamme von angezündetem Papier, das Aushauchen und Wegdampfen des Athems und dergl. schon Elektricität erregen könne. Sey daher etwas dergleichen mit den Scheiben vorgegangen, so müsse man vom Instrumente nicht eher Gebrauch machen, als bis man die Scheiben von einander getrennt, und jede für sich mit der Erde verbunden eine Nacht über der freien Luft ausgesetzt habe stehen lassen. Nie habe er, wenn dieses geschehen war, auch nur eine Spur von Verdoppelung ohne vorgängige Mittheilung erhalten. Ganz anders, meint aber BOHNENBERGER, verhalte sich die Sache beim Bennet'schen Duplicator, wo die Scheiben mit dem Erdboden, während der Operation selbst, in Verbindung gesetzt werden müssen. Er glaubt nämlich, dafs zwei isolirte unelektrische flache Körper sogleich auf einander wirken, als sie mit ihren Oberflächen einander genähert werden, und sich dann nicht mehr in ihrem natürlichen freien Zustande befinden, sondern dafs dabei entweder schon ein Anfang zur Vertheilung ihrer eigenthümlichen Elektricität (wiewohl vielleicht ein unendlich schwacher) gemacht, oder wenigstens das Bestreben darnach in ihnen bewirkt wird. Dieses Bestreben dauert fort, so lange sie einander genähert bleiben, und sobald der eine auf irgend eine Art durch leitende Substanzen mit dem Erdboden in Verbindung kommt, geht dieses Bestreben in wirkliche Action über, und in beider Elektricität geht eine Veränderung vor. Ein Theil des + E im dem isolirt gebliebenen Körper zieht sich nach der Seite des andern Körpers, und ein Theil seines — E weicht zurück. Jenes treibt aus dem mit der Erde in Verbindung getretenen Körper einen Theil seines + E hinaus, und zieht dafür — E herbei. Beides geschieht in einem so äufserst geringen Grade, dafs

wohl nie ein Mittel wird erfunden werden, die vorhergehenden Veränderungen unmittelbar sichtbar zu machen. Indessen ist nun doch schon der erste Anfang von Elektricität da, und es kommt, wie schwach man ihn auch denken will, nur auf eine Vorrichtung an, durch welche man das + E, das der eine Körper verliert, dem andern, der immer isolirt bleibt, zuführt, und wodurch die negative des einen und die positive des andern so lange vermehrt werden, bis endlich durch die dünne Luftschicht hindurch eine Explosion zwischen ihnen eintritt. Man übersieht nach dem Obigen leicht, dafs in dem Bennet'schen Duplicator eine solche Vorrichtung gegeben ist. Werden nämlich in diesem die beiden untersten Scheiben über einander gebracht, so entsteht in beiden, auch ohne alle Mittheilung von Elektricität ein Bestreben nach Vertheilung, das aber, so lange beide isolirt bleiben, ohne Wirkung ist. Berührt aber der Finger die obere Scheibe, so verliert sie etwas von ihrem natürlichen + E und wird nach Entfernung desselben in einigem Grade negativ. Wird nun die dritte oder oberste Scheibe über letztere gebracht, so wird durch die Wirkung dieser negativen Elektricität die Capacität jener obersten Scheibe für positive Elektricität vermehrt, und sie nimmt gerade so viel + auf, als jene in dem ersten Anfange der Operation verloren hatte, und wenn sie dann mit der untersten Scheibe in Berührung gebracht wird, während die mittlere sich über derselben befindet, so geht die übrige positive Elektricität von ihr in die untere über, in Folge der Anziehung der negativen Elektricität der mittleren. Es ist also so gut, als wenn das, was bei der ersten Operation der mittleren Scheibe durch die Finger als Elektricität abgenommen wurde, sogleich und unmittelbar der untersten mitgetheilt worden wäre. Bei jeder neuen Operation wirkt die unterste Scheibe, an welche die Mittheilung geschehen ist, doppelt so stark auf die mittlere, und durch sie auf die obere, als bei der vorhergegangenen, und ihre abstofsende Kraft nimmt also in jeder Operation um das Doppelte zu. Ist das der Fall, so mufs die Kraft, mit der sie nach der 24sten Operation auf die mittlere Scheibe wirkt $2^{24} = 8644608$mal, und bei der 30sten $=$ 553254912mal so stark seyn, als diejenige, womit sie bei der ersten Operation auf die mittlere Scheibe wirkt. So erklärt nun Bohnenberger, warum der Bennet'sche Duplicator, auch

wenn die Scheiben mehrere Tage und Nächte lang von einander gesondert, und mit der Erde verbunden waren, doch nach etwa 24 bis 26 Operationen Spuren von El. am Elektrometer zeigt, die dann noch 6 bis 8 Operationen mehr bis zur Explosion geht. Zugleich findet er aber auch darin einen Grund gegen die Annahme von Cavallo, dafs hier eine ursprüngliche von der in einem frühern Versuche mitgetheilten abhängige Elektricität zum Grunde liege, da man es doch für minder wahrscheinlich halten müsse, dafs eine mitgetheilte Elektricität so schwach seyn sollte, um erst nach einer so ungeheuern Verstärkung, wie die erste Zahl sie anzeigt, auf das Elektrometer zu wirken.

Ich kann dieser Ansicht Bohnenberger's nicht beistimmen, und glaube für den Unterschied des Verhaltens der beiden Arten von Duplicatoren, der als auf genauen Versuchen beruhend, an sich selbst nicht bestritten werden kann, eine andere Ursache nachweisen zu können. Es streitet nämlich gegen alle ausgemachten Gesetze der elektrischen Wechselwirkung, dafs zwei gleich indifferent-elektrische Körper, in welchen beiden also sich die beiden entgegengesetzten Elektricitäten gleichmäfsig binden und neutralisiren, so auf einander wirken können, dafs durch das + des einen, das — des andern stärker angezogen werden sollte, als es von seinem eigenen + angezogen wird, da auf beiden Seiten durchaus gleiche Kräfte wirken, ja das letztere + vielmehr noch den Vorzug haben sollte, da es in der unmittelbaren Berührung wirkt, jenes hingegen in eine Entfernung, wie klein sie auch immer seyn möge, wegen der zwischen den Scheiben befindlichen Luft- oder Firnifsschicht. Dafs Bohnenberger hierbei kein galvanisches Verhältnifs im Sinne haben konnte, ergiebt sich daraus, dafs beim Gebrauche des Duplicators keine unmittelbare Berührung der Scheiben statt findet, und auch eine Verschiedenheit des Metalls, aus welchem die Platten verfertigt sind, hier nicht eintritt, welche beide Bedingungen wesentlich zur galvanischen Elektricitätserregung sind. Sollte die Elektricität, welche der Bennet'sche Verdoppler von selbst, nach dem von Bohnenberger aufgestellten Gesetze erklärt werden, so müfste die von selbst zum Vorschein kommende Elektricität in allen Fällen positiv seyn, was doch den eigenen Versuchen desselben widerspricht, indem er Vormittags und Nachmittags, oder an zwei auf einander folgenden Tagen die

entgegengesetzten Elektricitäten erhielt, welches ihm zufolge seinen Grund in zufälligen veränderlichen Umständen haben sollte, z. B. in der Beschaffenheit der Atmosphäre und einer Veränderung, in den Dünsten im Zimmer, in der Ausdünstung aus dem Körper des Beobachters, oder aus den Speisen und Getränken, im Ofendampfe u. s. w. Die Hauptursache der freiwilligen Elektricitätserregung beim Bennet'schen Verdoppler und der Unsicherheit seines Gebrauchs, scheint mir in dem galvanischen Verhältnisse zu liegen, das zwischen der vom Finger des Beobachters berührten Scheibe und diesem selbst jedesmal eintritt. Wie schwach auch die in diesem Berührungsacte erzeugte Elektricität seyn mag, so muſs sie doch endlich der obigen Rechnung zu Folge durch wiederholte Operationen mit dem Duplicator merklich werden. Wie z. B. die Finger im Acte der Berührung der Scheibe B + macht, so wird dieses + durch die Entgegenwirkung der Scheibe A etwas condensirt. Wird dann die Scheibe B von A entfernt, so wird diese condensirte Elektricität sogleich eine stärkere Spannung annehmen, und in der Scheibe C, die darauf gesetzt wird, die entgegengesetzte Elektricität hervorrufen, welche dann nach Entfernung der Scheibe B frei wird, und sich der Scheibe A bei der Berührung derselben mittheilt, worauf dann in B abermals durch Vertheilung bei der zweiten gleichen Operation, wie die erste, neue entgegengesetzte Elektricität erzeugt wird, die auf C wieder dieselbe Wirkung ausübt und so fort. Daſs diese Elektricität nicht zu allen Zeiten gleich ausfallen wird, hängt ohne Zweifel von der verschiedenen elektrischen Beschaffenheit des menschlichen Körpers, den verschiedenen Zustande des berührenden Fingers und dergleichen mehr ab.

Fig. 197.

Uebrigens glaube ich hinsichtlich auf die Berechnung der Vervielfältigung der Elektricität durch den Verdoppler noch die allgemeine Bemerkung machen zu müssen, daſs wenn der Scheibe A irgend ein Quantum E. mitgetheilt wird, das durch 1 bezeichnet werde, in der Scheibe B niemals eine entgegengesetzte Elektricität von gleicher Stärke d. h. durch + 1 niemals — 1 hervorgerufen wird, sondern stets weniger als — 1, weil die Scheiben nicht in unmittelbarer Berührung, sondern entweder durch eine dünne Firniſs- oder Luftschicht von einander ge-

trennt sind, in welcher Hinsicht ich auf den Artikel: *Condensator* verweise [1]. *P.*

Durchdringlichkeit. S. Undurchdringlichkeit.

Durchgang

durch den Meridian; *transitus per meridianum, culminatio;* passage par le meridien; *the Transit.* — Ein Gestirn geht durch den Meridian, wenn es bei seiner täglichen Bewegung den Mittagskreis erreicht, und durch die Ebene desselben geht. Bei diesem Durchgange hat es entweder seine *gröfste* oder seine *kleinste* Höhe über dem Horizonte erreicht; das letztere findet nur bei den nicht untergehenden Gestirnen statt, wenn sie unterhalb des Poles im Mittagskreise erscheinen.

Zur Beobachtung der Zeit des Durchgangs dient das *Mittagsfernrohr* oder *Passage-Instrument*, welches in der Ebene des Meridians beweglich, nur nach Puncten im Meridian gerichtet werden kann. Ist es genau richtig aufgestellt, so ist derjenige Stern gerade in seinem Durchgange durch den Meridian, der von dem Mittelfaden des Fernrohrs bedeckt wird, und eine solche Beobachtung giebt die Zeit des Durchgangs unmittelbar. Sie kann aber auch durch *correspondirende* Höhen, nämlich durch Beobachtung der Zeit, wo das Gestirn *vor* und nach der Culmination gleich hoch steht, gefunden werden, jedoch sind da Correctionen nöthig, wenn das Gestirn in der Zwischenzeit seine Declination ändert.

Wozu die Beobachtung des Durchgangs dient, nämlich zur Zeitbestimmung, wenn man bekannte Sterne beobachtet, und zur Bestimmung der Rectascension unbekannter Gestirne wird an dem gehörigen Orte erklärt. *B.*

Durchgang

durch die Sonnenscheibe; *Transitus per discum solis;* Passages sur le disque du soleil; *the*

---

1 Vergl. meine Abhandlung in G. IX. 122. G. C. Bohnenberger ebend. p. 158 ff.

Transit over the Sun; ist die Erscheinung, da einer der unteren Planeten, *Mercurius* oder *Venus*, in der von der Erde nach der Sonne gezogenen Richtungslinie steht, und daher von den Bewohnern der Erde, als vor der Sonne vorbeigehend, oder scheinbar durch die Sonne gehend gesehen wird. Da der Planet uns dann seine ganz dunkle Seite zuwendet, so sieht man ihn wie ein rundes Scheibchen vor der Sonne vorbei rücken.

Dafs diese Erscheinungen zuweilen, aber auch dafs sie selten sich ereignen müssen, läfst sich leicht übersehen. Bei den Conjunctionen nämlich, wo *Mercurius* oder *Venus* gleiche Länge mit der Sonne haben, ist gewöhnlich ihre Breite zu erheblich, und sie gehn daher nicht durch die Sonne, sondern bei der Sonne vorbei. Nur dann, wenn der Planet bei seiner unteren Conjunction dem Knoten so nahe ist, dafs seine scheinbare Breite noch nicht dem Halbmesser der Sonne gleich ist, wird er in der Sonne gesehen. Da aber der Durchmesser der *Venus*, wenn sie der Erde am nächsten ist, nur etwa 1 Minute, der Durchmesser des *Mercurius* nur 11 Secunden beträgt, so sieht man sie mit bloſsen Augen in der hell glänzenden Sonne nicht, und vor Erfindung der Fernröhre hat daher keine Beobachtung der Durchgänge der Planeten statt gefunden.

Bestimmung der Zeit eines Durchgangs.

Die Grenze, welche die Breite des Planeten nicht übertreffen darf, wenn er bei der unteren Conjunction vor der Sonne gesehen werden soll, ist für den Mittelpunct der Erde gleich der Summe der scheinbaren Halbmesser der Sonne und des Planeten $= R + r$; denn bei einer so grofsen geocentrischen Breite würde ein Beobachter im Mittelpuncte der Erde nur noch eine Berührung des Planeten und der Sonne sehen. Für einen Beobachter auf der Oberfläche der Erde ist jene Grenze etwas gröfser, indem der von C aus nur als berührend erscheinende Planet P, von A aus schon in der Sonne erscheint und zwar um den Winkel $QAP = OPQ - AQP$ vom Rande entfernt; aber $OPQ = APC$ ist die Horizontalparallaxe des Planeten $= P$; $AQC = p$ die Horizontalparallaxe der Sonne, und folglich ist derjenige Abstand, wobei der Planet noch irgend einem Orte auf der Erde vor der Sonne erscheinen kann

Fig. 200.

$= R + r + P - p$, und wenn diese Grenze erreicht ist, geht, selbst für den am vortheilhaftesten gelegenen Ort, der Vorübergang in eine blofse Berührung über. Wenn der Planet diese geocentrische Breite hat, so ist, wenn der Abstand des Planeten von der Sonne $= A$, der Erde von der Sonne $= a$ ist,

Tang. helioc. Breite $= \frac{a - A}{A}$ (Tang. geocentr. Breite) oder beinahe die helioc. Breite $= \frac{a - A}{A}$ (geocentr. Breite). Diese heliocentrische Breite $= \beta$ wird aber erreicht, wenn der heliocentrische Abstand vom Knoten $= \lambda$ durch $\text{Sin.}\ \lambda = \frac{\text{Sin.}\ \beta}{\text{Sin.}\ i}$ angegeben wird, und i die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik ist. Für die *Venus* ist diese Entfernung vom Knoten, wenn man für die mittleren Abstände der beiden Planeten von der Sonne rechnet, $= 1^\circ\ 49'$; sobald *Venus* weiter vom Knoten entfernt ist, findet kein Vorübergang mehr statt. Für den *Mercur* ist diese Grenze $= 3^\circ\ 28'$.

Wie man nun die Perioden der Durchgänge findet, will ich nur in Beziehung auf die *Venus* zeigen. Die Venus kommt alle 583 Tage 22 Stunden mit der Sonne in Conjunction, da ihre Umlaufszeit $= 224$ Tagen $16\frac{3}{4}$ Stunden ist. Da nun jene Zwischenzeit 218 Tage 16 Stunden über 1 Jahr beträgt, so befindet sich die Erde bei jeder folgenden Conjunction um $215^\circ. 32'$. weiter vorgerückt in ihrer Bahn, als bei der vorher gehenden, und nach 5 Conjunctionen ist, (da $(215^\circ\ 32') \cdot 5 = 2 \cdot 360^\circ + 357^\circ 40'$), die Erde beinahe an dem Platze, wo sie bei der ersten Conjunction war. Nehmen wir also als eine erste Conjunction eine solche, wo die Erde ein wenig über die Knotenlinie der Venus hinaus war, so dafs Venus noch vor der Sonne vorübergehend erschien, so tritt die sechste Conjunction wieder nahe bei dem Knoten ein, und zwar etwas vor der Ankunft der Erde in der Knotenlinie, so dafs zum Beispiel ein Vorübergang der Venus, wobei die Erde 1 Grad über die Knotenlinie hinausgerückt war, nach 8 Jahren einen zweiten Vorübergang, wobei die Erde noch $1^\circ\ 20'$ vor dem Knoten ist, zur Folge hat. Aber da nun der Ort der Conjunction bei den nächsten 5 Conjunctionen wieder um $2\frac{1}{3}$ Grad zurückrückt, so be-

findet sich da die Venus schon weit aufser der Grenze eines Vorüberganges. Dagegen können wir nun weiter so fort rechnen: wenn die Erde sich bei der ersten Beobachtung 1 Grad über die Knotenlinie hinausgerückt befand, so ist sie bei der zweiten um $216\frac{1}{2}$ Grad über eben den Knoten oder $36\frac{1}{2}$ Grad über den andern Knoten hinausgerückt; und weil der Ort der Conjunctionen bei jeder fünften Conjunction um 2° 20′ zurückrückt, so ist die Erde bei der siebenten Conjunction noch 34° 10′ bei der zwölften Conjunction noch 31° 50′, und so ferner, vom Knoten entfernt, woraus sich leicht übersehen läfst, dafs sie bei der zwei und siebenzigsten Conjunction nur noch etwas über 3 Grad, bei der 77ten etwa 1 Grad vom Knoten entfernt ist, und bei der 82ten etwa $1\frac{1}{2}$ Gr. über den Knoten hinaus ist. Die drei eben genannten Conjunctionen treffen also wieder sehr nahe an die Grenze, wo ein Vorübergang statt finden kann, und obgleich bei der 72ten der Abstand vom Knoten noch zu grofs zu seyn scheint, so kann doch, da diese Rechnung nur nach den mittleren Abständen und nach den mittleren Bewegungen geführt ist, die wahre Bewegung so viel Unterschied hervorbringen, dafs schon bei dieser Conjunction ein Vorübergang eintritt. So erhellet der Grund, warum zwei Durchgänge nahe hinter einander erfolgen können und dann ein so langer Zwischenraum statt findet. War nämlich bei der ersten Conjunction ein Durchgang, so tritt die sechste, nach der mittleren Bewegung gerechnet, in 7 Jahren 363 Tagen, die zwei und siebenzigste in 113 Jahren 185 Tagen ein; und es fand zum Beispiel ein Durchgang statt im Jahre 1761 am 5. Juni, der nächste 1769 am 3. Juni und der jetzt zunächst bevorstehende wird seyn 1874 am 9. December. Die genauere Berechnung brauche ich hier nicht zu erläutern, da von selbst erhellet, dafs man aus den in den Venus-Tafeln [1] angegebne geocentrischen Orten der *Venus*, diejenigen Zeitpuncte, da Venus vom Mittelpuncte der Erde aus gesehn, nicht um einen ganzen Sonnenhalbmesser vom Mittelpuncte der Sonne absteht, leicht findet.

---

1 Tabulae Veneris novae et correctae, auctore de Lindenau. Gotha 1810.

Ganz ähnliche Berechnungen sind es, die man führen muſs, um die Zeit eines Durchgangs des *Mercurius* zu finden, und so wie wir eben für die Venusdurchgänge Perioden von 8 Jahren und von 113½ Jahren fanden, so findet man für die Mercursdurchgänge Perioden von 6 Jahren, 7 Jahren, 13 Jahren, von 2½, 3½, 9½ Jahren, wo zwar nicht nothwendig Vorübergänge eintreten, aber doch die Conjunctionen in die Nähe der Knoten fallen. Die Durchgänge im jetzigen Jahrhundert fallen oder fielen auf[1]

8. Nov. 1802.
11. Nov. 1815.
4. Nov. 1822.
4. Mai 1832.
7. Nov. 1835.
8. Mai 1845.
9. Nov. 1848.
11. Nov. 1861.
4. Nov. 1868.
6. Mai 1878.
7. Nov. 1881.
9. Mai 1891.
10. Nov. 1894.

Da die Knoten der Venus so liegen, daſs die Erde ungefähr am 5. Juni und am 6. December durch die Knotenlinie geht, so kann nur um diese Zeit, (etwas früher oder später, weil die Durchgänge nicht genau im Knoten selbst eintreten) ein Durchgang der Venus beobachtet werden. Die Knoten der Mercursbahn liegen so, daſs die Erde im Anfang des Mai und im Anfang des November durch die Knotenlinie geht und in diese Jahrszeiten also die Durchgänge fallen; es sind aber die Durchgänge im November öfter als die im Mai, weil die letztern fast mit der gröſsten Entfernung des Mercurius von der Sonne, die erstere mit seinem Perihelio nahe zusammenfallen; dadurch nämlich wird bewirkt, daſs Mercurius, bei gleichem Abstande vom Knoten oder bei gleicher heliocentrischer Breite, im Mai, wo er der Erde bedeutend näher ist, eine viel gröſsere geocentrische Breite hat, als im November, wo seine Entfernung von

1 Astron. Jahrb. 1804. S. 133.

der Erde gröfser ist, und dafs er daher im Mai dem Knoten näher seyn mufs, um uns die Erscheinung eines Durchgangs zu gewähren.

Beobachtungen der Durchgänge.

Kepler war der erste, der einen Durchgang des Mercurius und der Venus ankündigte. Vorher war niemals diese Erscheinung beobachtet; denn wenn gleich Averrhoes [1] den Mercurius in der Sonne gesehen zu haben glaubte, so konnte doch dies bei dem geringen, mit blofsem Auge nicht zu erkennenden Durchmesser des Mercurius nicht der Fall seyn, und Averrhoes hat vermuthlich einen grofsen Sonnenfleck gesehen. Nach Keplers Vorausberechnung sollte im Jahre 1631 der Mercurius am 7. Nov. die Venus am 6. Dec. durch die Sonne gehen [2]; aber die nach Tycho's Beobachtungen berechneten Tafeln waren noch zu wenig genau, daher traf der Venusdurchgang nicht ein, und nur der Mercursdurchgang wurde von Gassendi wirklich beobachtet [3]. Nachher sind die Durchgänge des Mercurius oft beobachtet worden.

Den ersten Venusdurchgang beobachtete Jerem. Horox am 24. Nov. alten Styls 1639; nach *Keplers* Berechnung sollte sie nicht vor der Sonne vorbeigehn, sondern nur sehr nahe aufserhalb vorübergehn; aber die Mängel der Tafeln zeigten sich auch hier, indem ein wirklicher Vorübergang statt fand, wovon indefs Horox nur den Eintritt kurz vor Sonnen – Untergang sehen konnte [4]. Die beiden folgenden Venusdurchgänge in den Jahren 1761 und 1769 sind mit grofser Sorgfalt an vielen Orten beobachtet worden, da die Wichtigkeit dieser Erscheinung, um die Entfernung der Erde von der Sonne zu bestimmen, von

---

1 Montucla erzählt, dafs Averrhoes (im 13. Jahrh.) versichert, er habe eine Conjunction des Mercurius mit der Sonne berechnet, und an dem Tage den Planeten in der Sonne gesehen. Montucla histoire I. 368.

2 Admonitio ad astronomos de miris, rarisque anni 1631. phaenomenis. Lips. 1629.

3 Epist. ad Schickardum de Mercurio in sole viso et Venere invisa, in Gassendi opp. Tom. IV. p. 499.

4 Jerem. Horoccii Venus in sole visa, in Horoccii opp. posth. Ed. J. Wallis. Lond. 1678.

HALLEY [1] zuerst erkannt, es wünschenswerth machte, an entlegenen und vortheilhaft gewählten Orten die Zeitpuncte des Eintritts und Austritts genau zu beobachten. Bei diesen Beobachtungen nahm man manche Umstände wahr, die eine genaue Zeitangabe sehr erschwerten. Dafs man die äufsere Berührung, wo der dunkle Venusrand anfängt in die Sonnenscheibe einzuschneiden, nicht genau wahrnehmen konnte, sondern diesen erst dann gewahr ward, wenn schon ein Theil der Venus vor der Sonne war, liefs sich erwarten; aber desto sicherer hatte man auf den Zeitpunct der inneren Berührung, wo die Venus im strengsten Sinne eben ganz eingetreten wäre, gerechnet, bei dessen Beobachtung sich jedoch auch Schwierigkeiten zeigten. Die ganz eingetretene dunkle Venusscheibe trennte sich nämlich anscheinend nicht sogleich, nachdem sie ganz eingetreten war, vom Sonnenrande, sondern WARGENTIN bemerkt, dafs er fast eine ganze Minute lang [2], nachdem er die ganze Rundung der Venus in der Sonne gesehen hatte, warten mufste, ehe sie plötzlich vom Sonnenlicht umgeben, in der Sonne stand oder vom Rande getrennt erschien; und eben so bemerkte man in Upsala, dafs die ganz eingetretene Venus, indem sie tiefer in die Sonne eintrat, noch immer am Rande hängend, länglich, als erstrecke sich eine Erhöhung, wie ein Wassertropfen bis an den Rand, eine geraume Zeit beobachtet wurde, bis endlich dieses die Venus mit dem Sonnenrande verbindende Band zerrifs, und die Venus nun auf einmal um $\frac{1}{6}$ oder $\frac{1}{8}$ ihres Durchmessers von dem Rande entfernt erschien. Auch beim Austritt war die Erscheinung nicht so bestimmt, wie man etwa erwarten möchte; WARGENTIN und andere sahen zwar das Verschwinden des letzten Lichtfadens, der die Venus noch vom Sonnenrande getrennt hatte, oder sein Zerreissen als eine völlig bestimmte momentane Erscheinung, die indefs von KLINGENSTIERNA mit einem stärkern Fernrohre 3 Secunden später wahrgenommen wurde; aber MALLET in Upsala sah beim Antritt des Venusrandes den Sonnenrand als ausgebogen, und konnte die

1 Philos. Transact. for 1716.

2 ENCKE: Die Entfernung der Erde von der Sonne aus dem Venusdurchgange 1761. S. 101. und Röhls Merkwürdigkeiten von den Durchgängen der Venus. Greifswalde. 1768.

Zeit, da sich der Sonnenrand öffnete, nur mit einiger Unsicherheit angeben, u. s. w. Diese Verschiedenheiten in dem Wahrnehmen der Erscheinungen [1] machen es schwer, die genau correspondirenden Zeitmomente aus den Beobachtungen an verschiedenen Orten herzunehmen.

Die Erzählung dessen, was bei diesen beiden Venusdurchgängen von den zahlreichen Beobachtern geleistet ist, verdient bei Encke nachgelesen zu werden [2].

Genauere Bestimmung, wie sich der Venusdurchgang an verschiedenen Orten der Erde zeigt.

Wenn ein Planet mit der Sonne in der unteren Conjunction ist, so ist er allemal rückläufig und er geht also so bei der Sonne vorbei, daſs er vor der Conjunction östlich, nachher westlich von ihr steht; eben so ist es auch bei den Vorübergängen, und der *Eintritt* des Planeten geschieht daher an der *Ostseite* der Sonnenscheibe, der *Austritt* an der *Westseite* derselben. Für den Mittelpunct der Erde könnte man die Hauptmomente der ganzen Erscheinung leicht angeben, da aus den Venustafeln und Sonnentafeln die relative Bewegung der Venus gegen die Sonne in der Länge, und die Veränderung der Breite der Venus bekannt ist; auch die Zeit der Conjunction und die Breite der Venus in dem Augenblick, wo die Länge beider Mittelpuncte gleich ist, leicht gefunden wird. Man findet nämlich hieraus leicht den Zeitpunct der äuſsern Berührung und der innern Berührung für den Anfang und das Ende des Vorüberganges, wenn man den geocentrischen Abstand der Mittelpuncte von einander sucht, der $= R + r =$ der Summe der Halbmesser ist, für die äuſsere Berührung, und $= R - r =$ der Differenz der Halbmesser, für die innere Berührung.

Unter den Puncten auf der Erde, wo man den Vorübergang beobachten kann, sind diejenigen vorzüglich merkwürdig,

---

1 worüber im Art. *Inflexion des Lichts* mehr vorkommen wird.

2 Encke's zwei Schriften haben folgende Titel: 1. die Entfernung der Sonne von der Erde aus dem Venusdurchgange 1761, und 2. der Venusdurchgang von 1769, als Fortsetz. d. Abh. über d. Entf. d. Sonne von d. Erde.

die den Eintritt am frühsten und die ihn am spätesten, und eben so, die den Austritt am frühsten und am spätesten sehen, und dann die, für welche die Dauer des ganzen Vorübergangs am längsten und am kürzesten ist. Jene wollen wir zuerst zu bestimmen suchen.

Wenn die Venus geocentrisch genau im Mittelpuncte der Sonne erschiene, so sähe derjenige Ort, welcher die Sonne im Zenith hat, sie, ohne alle Parallaxe, gleichfalls vor dem Mittelpuncte der Sonne. Ganz strenge findet diese völlige Gleichheit der Erscheinung nicht mehr statt, wenn bei dem geocentrischen Eintritt die Venus um einen scheinbaren Sonnenhalbmesser vom Mittelpuncte der Sonne entfernt ist, aber wir werden hier, wo es auf die strengste Genauigkeit nicht ankommt, es so ansehen dürfen, als ob immer der Ort, wo die Sonne, das heifst, der Mittelpunct der Sonne, im Zenith steht, genau eben die Erscheinungen sähe, welche für den Mittelpunct der Erde berechnet sind. Dann erhellet zuerst, wenn man durch die nach der Sonne S und nach der Venus V vom Mittelpuncte der Erde aus gezogenen Linien eine Ebene legt, die den auf S C senkrechten gröfsten Kreis auf der Erde E F B in B schneidet, dafs von B aus der scheinbare Abstand des Venus-Mittelpunctes vom Centro der Sonne $= D - (P - p)$ ist, wenn er in C oder A, $= D$ war, und P die Parallaxe der Venus, p die Parallaxe der Sonne ist; indem $SCV = D$; $CSB = p$; $CVB = P$, und $SBV = CuB - P = D + p - P$ ist. In B wird also die Venus schon in der Sonne gesehen, wenn sie in C oder A erst eintritt, und es ist offenbar, dafs in B der Eintritt am frühsten, in E am spätsten erfolgt; jedoch sind die Orte B, E, nicht genau diametral einander entgegengesetzt; denn damit in B der scheinbare Abstand $= R - r =$ der Differenz der scheinbaren Halbmesser von Venus und Sonne sey, mufs $D = R - r + (P - p)$ seyn, statt dafs der Abstand D nur noch $= R - r - (P - p)$ ist, wenn in E der Abstand $= R - r$ ist oder in E die innere Berührung statt findet; der Punct A, wo die Sonne für den einen und für den andern Zeitmoment im Zenith steht, ist also um etwas Weniges verschieden, und da B um 90 Grade von dem einen, E um 90 Grade von dem andern entfernt ist, so ist B E nicht genau ein Durchmesser; jedoch werden wir es hier, da die Zwischenzeit zwischen jenen

Fig. 201.

beiden Eintritten nur selten mehr als ½ Stunde betragen kann, so ansehen, als ob ein und derselbe Punct A sich auf den frühsten und spätesten Eintritt bezöge. Für den Austritt gilt genau eben das.

Die Orte B und E liegen auf der Erde 90 Grade von A entfernt, und da in A die Sonne im Zenith steht, so ist sie in B, E im Horizonte, woraus also erhellet, daſs die beiden Orte, welche unter allen am frühsten, und welche unter allen am spätsten den Eintritt sehen, diese Erscheinung sehen werden, wenn die Sonne dem einen aufgeht, und wenn sie dem andern untergeht. Fast immer ist es der Punct, dem gerade die Sonne untergeht, welcher den frühsten Eintritt hat, und der, dem die Sonne eben aufgeht, hat den spätsten Eintritt; und eben so beim Austritt sieht derjenige der eben angegebnen zwei Orte den Austritt zuerst, dem die Sonne untergeht, und derjenige sieht ihn zuletzt, dem die Sonne eben aufgeht [1].

Um diese Orte auf der Erde anzugeben, scheint mir folgendes Verfahren am deutlichsten, und wer zu rechnen weiſs, wird die Rechnungen, die ich hier weglasse, leicht daran knüpfen können. Da die geocentrische scheinbare Bewegung der Venus relativ gegen die Sonne bekannt ist, so wird man, wenn C E die Ekliptik, S den Mittelpunct der Sonne, E H O C die scheinbare Sonnenscheibe bedeutet, leicht folgende Zeichnung ausführen. (Fig. 202.) Man nehme E S = S C nach einem willkürlichen Maſsstabe gleich so vielen Theilen, als der scheinbare Halbmesser der Sonne in Secunden beträgt, und zeichne den Kreis E H O C mit diesem Halbmesser; man ziehe S F senkrecht auf E C und mache S F = der in Secunden gegebenen Breite des Venus-Mittelpunctes zur Zeit der Conjunction; man trage auf S E den scheinbaren Längenunterschied zwischen Sonne und Venus auf, wie er zum Beispiel 3 Stunden vor der Conjunction war, und dazu als Ordinate die damalige Breite der Venus, so hat man dadurch einen zweiten Punct der relativen Venusbahn, und wenn man durch diese und durch F die gerade Linie V N zieht, so ist dies die Bahn des Venus-Mittelpuncts durch die Sonnen-

---

1 Die durch Bedingungen, welche selten vorkommen, beschränkten Ausnahmen giebt Schubert an, Traité d'astronomie théorique. Tome II. p. 445.

scheibe für den Mittelpunct der Erde. Geocentrisch tritt also der Mittelpunct in H in die Sonne ein, in O tritt er aus; ist der Mittelpunct in V so findet beim Eintritt die äufsere Berührung geocentrisch statt, dagegen die innere Berührung, wenn der Mittelpunct bei I ist; für den Austritt haben N, L, eine ähnliche Bedeutung.

Eben die Erscheinungen, welche man im Mittelpuncte der Erde sehen würde, sieht der Beobachter, welcher die Sonne im Zenith hat; aber da wegen der Umdrehung der Erde jeden Augenblick ein anderer Punct der Erde die Sonne im Zenith sieht, so mufs man für Orte auf der Oberfläche der Erde die Erscheinungen eines einzigen Zeitmoments allein betrachten. Wir denken uns also die Sonne in dem Zenith eines Ortes gerade in dem Augenblick, da zum Beispiel die innere Berührung beim Eintritt statt findet, oder der Mittelpunct der Venus in I steht, und können nun wohl, da der Mittelpunct S der Sonne im Zenith ist, den Punct W des Sonnenrandes, wo die innere Berührung geschieht, nach der Himmelsgegend angeben. Zieht man nämlich den Meridian S P, so würde P der nördliche Punct des Sonnenrandes heifsen, und aus der leicht zu berechnenden Lage der Ekliptik gegen den Meridian für diesen Augenblick, und der Lage der scheinbaren Venusbahn gegen die Ekliptik, ist der Punct W bekannt, wo der Eintritt demjenigen erscheint, der den Mittelpunct der Sonne im Zenith sieht. Denkt man sich nun einen gröfsten Kreis auf der Erde nach eben der Himmelsgegend, wo W in Beziehung auf S P liegt, gezogen, und nimmt auf diesem von jenem Orte an 90 Grade, so hat man den Ort, der die Venus jetzt schon mehr als irgend ein anderer Ort auf der Erde eingetreten sieht; dagegen wenn man auf demselben Kreise nach der entgegengesetzten Richtung 90 Grade fortgeht, so hat man den Punct, der die Venus am meisten von der innern Berührung entfernt, diese also noch nicht als eingetreten sieht. Die beiden eben bezeichneten Orte können wir also den Ort der frühsten und den Ort der spätesten innern Berührung beim Eintritt nennen, obgleich sie dieses sofern nicht ganz genau sind, als die frühste Berührung schon vorüber ist, wenn der Ort, den wir eben betrachten, die Sonne im Zenith hat, und die Betrachtung also genau genommen auf einen Ort, der etwas eher die Sonne im Zenith hatte, sollte angewendet wer-

den. Der Ort, wo der frühste Eintritt erfolgt, liegt allemal östlich in Beziehung auf den Pol der Ekliptik und fast immer auch östlich in Beziehung auf den Pol des Aequators, und man kann daher meistens sagen, die Sonne geht demjenigen Puncte der Erde gerade unter, der den Eintritt am frühsten sieht, so daſs dieser von dem Vorübergange *nur den Eintritt* sieht; dagegen geht die Sonne dem Orte auf, der den Eintritt am spätesten sieht, und diesem Orte zeigt sich also der ganze Vorübergang. Das Gegentheil gilt für den Austritt, wo man die Betrachtungen eben so anstellt.

Bei dem *Venusdurchgange* von 1769 lag der Punct des frühsten Eintritts in der Gegend von Mannheim, und jeder Ort, welcher um einen Bogen $= \zeta$ von da entfernt war, sah den Eintritt um $(T' Z')$. Sin. vers. ζ später; der späteste Eintritt erfolgte etwas südlich von Neuseeland 14 Minuten später als in Mannheim. Der späteste Austritt erfolgte im südlichen Arabien, der früheste Austritt in der Südsee zwischen der Osterinsel und den niedrigen Inseln.

Wenn man durch einen gröſsten Kreis um den Ort, der die Sonne beim Eintritt im Zenith sieht, die Erde in zwei Hemisphären theilt, so hat man dadurch alle die Orte eingegrenzt, die kurz nach dem Eintritt die Sonne über dem Horizonte sehen, und die also den Eintritt beobachten können, wenn nicht, wie bei einigen der Fall ist, die Venus wegen der Parallaxe auſserhalb der Sonnenscheibe bleibt, bis die Sonne untergegangen ist; und eine ähnliche Bestimmung giebt für die Zeit des Austritts die Orte an, welche den Austritt sehen können, und damit sind die Hauptumstände der Erscheinung bestimmt. Aber noch eine wichtige Untersuchung bietet sich dar, nämlich die Frage, *an welchem Orte der Erde der ganze Vorübergang am längsten, und an welchem Orte er am kürzesten dauern wird.* Es kommt dabei auf zwei Umstände an, erstlich daſs die Chorde, welche die über die Sonnenscheibe gehende Venus beschreibt, an verschiedenen Orten ungleich ist, und zweitens daſs die Rotation der Erde an einigen Orten die Dauer des Durchgangs vermehrt, an andern sie vermindert.

Wenn die Venus vor dem nördlichen Theile der Sonne vorbeigeht, so sehen die nördlicher auf der Erde Wohnenden vermöge der Parallaxe die Venus eine gröſsere Sehne beschreiben

als die südlicher Wohnenden und, darnach zu urtheilen, müſste die Dauer des Vorübergangs in den nördlichen Gegenden gröſser seyn; aber der zweite Umstand kann diese Einwirkung zum Theil aufheben. Denken wir uns nämlich um die Zeit, da die Venus ungefähr in der Mitte des Durchgangs ist, den Ort, wo die Sonne im Zenith steht, so rückt dieser Ort vermöge der Drehung der Erde der fortrückenden Bewegung der Venus entgegengesetzt fort, und dadurch wird das scheinbare Hindurchrücken durch die Sonne beschleunigt und die Zeit des Durchgangs verkürzt; das geschieht nicht bloſs für den Ort, welcher die Sonne im Zenith hat, sondern für alle Orte auf der der Sonne um diese Zeit zugekehrten Seite der Erde, am meisten für die näher am Aequator liegenden, weil ihre Bewegung schneller ist. Dagegen haben die auf der andern Seite der Erde liegenden Orte, die um diese Zeit Mitternacht haben, eine Bewegung, die nach eben der Richtung geht, wie die Bewegung der Venus, und dies würde (wenn um die Zeit die Venus und Sonne von ihnen gesehen werden könnte,) den Durchgang verzögern, weshalb denn der ganze Durchgang ihm länger dauernd erscheint, und wenn sie den Eintritt vor Sonnenuntergang sahen und den Austritt nach Sonnenaufgang, so wird die Beobachtung diese längere Dauer ergeben. Die Orte, wo die ganze Dauer am gröſsten oder am kleinsten ist, müssen nach dieser doppelten Rücksicht bestimmt werden; es erhellet aber, daſs die längste Dauer in der Gegend desjenigen Meridians seyn wird, wo Mitternacht ist um die Zeit der Conjunction, und die kürzeste Dauer da, wo Mittag ist, wenn die Venus mitten in der Sonne steht. Genauer findet man die Puncte der längsten und kürzesten Dauer, wenn man um den Punct des frühsten Eintritts als um einen Pol Parallelkreise zieht, welche die Orte, wo der Eintritt 1 Min. später, 2 Min. später, 3 Min. später geschieht, bezeichnen, und wenn man eben solche Kreise um den Punct des spätsten Austritts zieht; da läſst sich dann leicht die Dauer für jeden Ort finden, und der Ort der gröſsten Dauer erkennen. Aber der letztere Ort, den wir so bestimmt haben, daſs wir die Gesichtslinien durch die Erde hindurch gehend dachten, ist vielleicht zur Beobachtung ganz untauglich; denn die Gegend in Kleinasien zum Beispiel, welche 1769 am 3. Juni, die gröſste Dauer hätte beobachten sollen, hatte längst Nacht,

ehe die Venus eintrat, und noch nicht wieder Tag, als sie austrat; also konnte damals die wirkliche Beobachtung der möglichst längsten Dauer nur in Gegenden angestellt werden, die, ziemlich entfernt von jenem Puncte, durch die Kürze ihrer Nacht in sehr nördlichen Breiten, die Beobachtung, sowohl des Eintritts als des Austritts erlaubten. Solche Orte waren die im nördlichsten Theile von Schweden, wo deshalb mehrere Beobachter hingesandt wurden, und wo die Zeit zwischen beiden innern Berührungen 5 Stunden 53 Min. betrug, statt daſs sie in Otaheite in der Nähe des Punctes der kürzesten Dauer nur 5 Stunden 30 Minuten war.

Anwendung der Venusdurchgänge zur Bestimmung der Sonnenparallaxe.

Bisher sahen wir die ganze Berechnung so an, als ob die Parallaxen der Venus und der Sonne bekannt wären, indem den Unterschied dieser Parallaxen $= P - p$ allen Bestimmungen zum Grunde liegt; aber es läſst sich leicht übersehen, daſs man eben so gut aus den beobachteten Zeitmomenten des Durchgangs die Parallaxe bestimmen kann, als man umgekehrt jene berechnen konnte, wenn diese gegeben war.

Obgleich wir aber hier die Gröſse beider Parallaxen nicht als bekannt ansehen, so ist doch ihr Verhältniſs bekannt, indem die *verhältniſsmäſsigen* Abmessungen der Planetenbahnen sehr genau bekannt sind, wenn gleich die *absoluten* Gröſsen keinesweges strenge bestimmt sind. Setzt man also die Parallaxe der Venus $= P = m\,p$, gleich der m fachen Sonnenparallaxe, so ist m für die Zeit des Durchgangs bekannt, und die Sonnenparallaxe kommt allein noch als unbekannte Gröſse vor. Wie man diese findet, wird hinreichend aus folgender Betrachtung erhellen. Wenn die Zeit der geocentrischen innern Berührung berechnet ist, welche von den Parallaxen nicht abhängt, so ist die Zwischenzeit, welche zwischen der frühesten innern Berührung auf der Oberfläche der Erde und der geocentrischen Berührung verflieſst, und eben so die Zwischenzeit zwischen dieser und der spätesten Berührung, der Sonnenparallaxe proportional; hätte also eine gewisse, vielleicht unrichtig angenommene Sonnenparallaxe einen bestimmten Werth dieser Zwischenzeiten ge-

geben, und die Beobachtung gäbe einen andern Werth, so würde sich die wahre, der Beobachtung entsprechende Sonnenparallaxe daraus ergeben. Etwas Aehnliches gilt von jeder Beobachtung, oder richtiger, da die geocentrischen Erscheinungen nicht durch Beobachtung geprüft werden können, für die Vergleichung zweier an weit von einander liegenden Orten angestellter Beobachtungen.

Man hoffte, mit Hülfe dieser Beobachtungen die Sonnenparallaxe, die etwa $8\frac{3}{4}$ Secunden beträgt, bis auf ein Hundertel einer Secunde genau bestimmen zu können, indem die Rechnung ergab, daſs zum Beispiel bei dem Durchgange 1769, in Lappland die ganze Zeit des Durchgangs 160mal so viel Zeitsecunden länger als auf Otaheite dauern sollte, als die Sonnenparallaxe Raumsecunden beträgt, und man nun schloſs, der beobachtete Unterschied der Dauer an beiden Orten = 23 Min. = 1380 Secunden werde sich bis auf einige wenige Secunden ergeben, also $p = \frac{1380}{160} = 8\frac{5}{8}$ Sec. etwa nur um $\frac{2}{1380}$ oder $\frac{1}{700}$ des Ganzen, was nicht viel über 0,01 Sec. betrüge ungewiſs seyn. So genau aber stimmen die Beobachtungen nicht zusammen, und nach Encke's sorgfältiger Vergleichung *aller* Beobachtungen läſst sich aus beiden beobachteten Vorübergängen nur folgendes schlieſsen. Aus dem Durchgange 1761, die Sonnenparallaxe $= 8'',5309$, mit einem möglichen Fehler von $\pm$ 0,062 Secunden; aus dem Durchgange 1769, die Sonnenparallaxe $= 8'',6030$, mit einem möglichen Fehler von $\pm 0'',046$, wo unter Sonnenparallaxe die unter dem Aequator statt findende Horizontalparallaxe zu verstehen ist. Wir können also die Sonnenparallaxe $= 8'',577$, als nur etwa um $0'',04$ unsicher ansehen, und die Entfernung der Erde von der Sonne = 20666800 Meilen angeben, oder wenigstens behaupten, daſs diese Entfernung nicht unter 20577649 und nicht über 20755943 Meilen ist.

Warum die *Mercurs-Vorübergänge* zu diesen Bestimmungen nicht brauchbar sind, erhellet leicht, nämlich weil Mercur zu entfernt und seine Parallaxe nicht genug von der Sonnenparallaxe verschieden ist. Aus diesem Grunde ist die Zeit des frühesten und spätesten Eintritts nur wenig verschieden, die längste Dauer des Durchgangs nicht so stark abweichend von der kürzesten Dauer u. s. w. *B.*

Durchsichtigkeit.

Pelluciditas; Transparence, diaphanéïté; *Transparency;* ist die Eigenschaft der Körper, vermöge welcher sie Lichtstrahlen durchlassen. Das Gegentheil heifst *Undurchsichtigkeit; impelluciditas.* s. *opacitas;* opacité; *opacity.*

Es giebt keinen Körper, der alles Licht so vollkommen durchliefse, dafs nicht einiger Lichtverlust beim Durchgange statt fände; keiner ist also *vollkommen durchsichtig;* aber die Grade der Durchsichtigkeit sind sehr verschieden.

Hypothesen über die Ursache der Durchsichtigkeit.

Die Durchsichtigkeit richtet sich nicht nach der ungleichen Dichtigkeit der Körper, und ganz unrichtig würde es seyn, wenn man diejenigen Körper als die durchsichtigsten sich denken wollte, die am wenigsten Dichtigkeit besitzen, vielmehr ist es bekannt, dafs das schwere Glas durchsichtig ist, während Holz und Papier es nicht sind.

Die Meinung des Cartesius [1], die Durchsichtigkeit finde da statt, wo die leeren Zwischenräume in geraden Linien liegen, bedarf kaum einer Widerlegung, da man nicht einsieht, wie Körper dann nach allen Richtungen durchsichtig seyn sollte, da doch unmöglich diese geraden Linien, nach welchen die Zwischenräume geordnet seyn sollen, nach allen Richtungen gehen könnte.

Weit mehr hat Newtons Ansicht für sich, der [2] die Undurchsichtigkeit als Folge der im Innern der Körper vorgehenden Zurückwerfungen des Lichts ansieht, diese aber nur da annimmt, wo Zwischenräume, mit einem Medio von anderer Dichtigkeit gefüllt, vorkommen. Er bemerkt, dafs da, wo der Lichtstrahl aus einem Körpertheilchen in ein anderes, die Lichtstrahlen eben so stark brechendes, übergeht, weder Refraction noch Reflexion statt finde, da hingegen, wo der Strahl an eine Materie von anderer Dichtigkeit oder von anderer Brechungskraft

1 Cartesii Dioptrica Cap. I.

2 Optice. Lib. II. Pars. 3.

gelangt, auch ein Theil des Strahls zurückgeworfen werde. Dafs die Zerstreuung und das Verlorengehen des Lichtes in der That hierauf wenigstens zum Theil beruht, sieht man deutlich, wenn im Glase oder in andern durchsichtigen Körpern kleine Bläschen sind; diese sieht man, wenn der Lichtstrahl auf sie fällt, durch zurückgeworfenes Licht, und je mehr durch sie Licht zurückgeworfen oder zerstreut wird, desto weniger dringt hindurch und desto mehr geschwächt erscheint der durchgehende Lichtstrahl.

Nach Newton können also nur diejenigen Körper durchsichtig seyn, die von sehr gleichförmiger Dichtigkeit sind, und Wasser, Glas, Bergkrystall und andere ähnliche Körper scheinen wirklich diese gleichförmige Dichtigkeit in hohem Grade zu haben. Von den flüssigen Körpern, bei denen die leichte Verschiebbarkeit der Theilchen auf einer nach allen Seiten genau gleichen Anziehung zu beruhen scheint, läfst sich also erwarten, dafs sie sehr durchsichtig seyn werden, wie es auch bei Wasser, Luft und andern ungemischten Flüssigkeiten der Fall ist. Zur Unterstützung dieser Ansicht läfst sich Manches beibringen, zum Beispiel das [1] von Brewster angegebene Verfahren, um die undurchsichtigen Stücke von Glas, Edelsteinen u. s. w. durch Eintauchen in eine Materie von gleicher Brechungskraft durchsichtig zu machen; das bekannte Mittel, dem völlig undurchsichtigen Papier dadurch, dafs man es mit Oel tränkt, einen gewissen Grad von Durchsichtigkeit zu geben, die daher zu rühren scheint, dafs die vorhin mit Luft gefüllten Poren nun mit einer Materie gefüllt sind, welche fast eben die anziehende Kraft auf die Lichtstrahlen ausübt, wie die Theilchen des Papiers selbst. Der Hydrophan, das Weltauge, ein Stein, der von den Mineralogen als eine Abart des edlen Opals angesehen wird [2], wird durchsichtig, wenn er Wasser oder andere Flüssigkeiten in sich aufgenommen hat, statt dafs er sonst undurchsichtig ist; wenn man ihn lange in geschmolzem Wachse digerirt, so ist seine Durchsichtigkeit so lange er heifs ist, schöner, als wenn er blofs Wasser in sich aufgenommen hat, und diese gröfsere Durchsichtigkeit rührt offenbar davon her, dafs das Wachs die

---

1 Vergl. Art. *Brechung*. Nro. 13. Th. I. S. 1143.

2 Glockers Grundrifs der Mineralogie S. 210.

Lichtstrahlen mehr bricht, als das Wasser, und also in dieser Hinsicht der Materie des Hydrophans näher steht als das Wasser [1].

Nach diesen und ähnlichen Erfahrungen scheint es allerdings, als ob die Bedingung der Durchsichtigkeit darin bestehe, daſs die Einwirkung aller einzelnen Körpertheilchen auf das Licht beim Durchgange durch den Körper völlig gleich oder doch sehr nahe gleich sey. Indeſs ist es wohl nicht das im Innern des Körpers reflectirte Licht allein, was verloren geht, sondern es scheint doch auch in dem eigentlich sogenannten undurchsichtigen Körpern eine Absorption des Lichtes, ein für unsern Gesichtssinn völliges Verlorengehen des Lichtes, statt zu finden, über dessen eigentlichen Grund wir weiter nichts wissen; bei dieser Absorption scheint wenigstens das mit Wärme verbundene Licht immer eine Erhitzung des Körpers hervorzubringen.

Hieran knüpft sich die Frage, welche der beiden Hypothesen, die man zur Erklärung der Phänomene des Lichts aufgestellt hat, die *Emanationshypothese* oder die *Vibrationshypothese*, am passendsten für die Erklärung der Durchsichtigkeit, sey. Jene nimmt an, das Licht bestehe aus Theilchen, die vom leuchtenden Körper ausgehen und mit groſser Schnelligkeit sich fortbewegen; diese dagegen sieht die Erscheinungen des Lichts als durch Schwingungen des Aethers hervorgebracht an. Jene also ist genöthigt anzunehmen, daſs der durchsichtige Körper, wie groſs seine Dichtigkeit auch immer seyn mag, die Lichttheilchen hindurch lasse; und man hat es dieser Hypothese nicht ganz mit Unrecht zum Vorwurfe gemacht, daſs sie ja die Körper als nach allen Richtungen durchlöchert betrachten müsse, und wenn sie gleich diese Löcher als sehr zart voraussetze, doch ihrer unendlich viele bedürfe, um den unzähligen Lichtstrahlen Raum zu geben. Aber ein gleich bedenklicher Vorwurf scheint auch die Vibrationshypothese zu treffen; denn wenn man annimmt, daſs der in den Poren des durchsichtigen Körpers enthaltene Aether die Vibrationen fortpflanze, so läſst sich der eben erwähnte Vorwurf auch gegen diese Hypothese anwenden; will man aber behaupten, daſs die Materie des Körpers selbst in Vibrationen gerathe, die Vibratio-

1 Grens Journ. d. Physik. VII. 143.

nen also durch sich hindurch fortpflanze und dadurch die Erscheinungen des Lichtes an der andern Seite hervorbringe, so scheint es sehr schwer begreiflich, wie die ungemein groſse Regelmäſsigkeit bei dem Durchlassen des Lichts statt finden könne. Diese Schwierigkeiten entstehen indeſs bei beiden Hypothesen vorzüglich daraus, daſs unsere Vorstellungen von Bewegung, von Widerstand, den die Bewegung leidet, u. s. w. sich viel zu sehr an die sehr stark in die Sinne fallenden Erscheinungen anknüpfen.

Die Erscheinung, welche sich uns beim Durchgange des Lichttheilchens (wenn es mir erlaubt ist, so zu reden) durch einen festen durchsichtigen Körper darbietet, stimmt vollkommen mit den Gesetzen der anziehenden Kräfte überein [1]; das Lichttheilchen findet durch den festen durchsichtigen Körper seinen Weg mit eben der Sicherheit und Regelmäſsigkeit, wie der geworfene Körper seinen Weg durch die Luft findet. Dies würde uns nicht im Mindesten sonderbar vorkommen, wenn wir uns ein solches Ausweichen der Theilchen des festen Körpers denken könnten, wie wir es uns bei den Lufttheilchen denken, welche der geworfene Körper auf seinem Wege antrifft, und die Schwierigkeit, die ich oben erwähnte, kann daher eben so wohl in einer unrichtigen Vorstellung von der Härte der Körper, wonach ihre Theilchen dem eindringenden Lichttheilchen nicht ausweichen, liegen, als in einer unrichtigen Vorstellung vom Lichte. Dürften wir sagen, das Lichttheilchen treibe eben so die Theilchen des durchsichtigen Körpers aus dem Wege, wie der geworfene Körper die Luft, und dieses sey nur, weil es so unendlich wenig beträgt, uns nicht merklich, — keine Materie sey so hart, daſs sie nicht eine hinreichende Verschiebbarkeit der Theilchen besitze, um den feinen und schnellen Lichttheilchen auszuweichen, — dürften wir dies sagen, so wäre alle Schwierigkeit gehoben, die das Hindurchgehen der Lichttheilchen betreffen.

Die Schwierigkeit, welche der Behauptung, das Lichttheilchen folge den Gesetzen der anziehenden Kräfte, sich entgegenstellt, wenn man die an der Oberfläche jedes durchsichtigen

---

1 Vergl. Art. *Brechung* Nr. 24. Th. I. S. 1158. Art. Doppelte Brechung Nr. 9. Th. I. S. 1179.

Körpers statt findende Reflexion in Betrachtung zieht, und die neuen Schwierigkeiten, welche die Entdeckung der Polarisirung des Lichts kennen gelehrt hat, erwähne ich hier nicht, da hier nur von demjenigen Lichte, was schon in den Körper eingedrungen ist, geredet wird.

Huygens, bekanntlich einer der scharfsinnigsten Vertheidiger der Vibrationshypothese, sieht es als am wahrscheinlichsten an, daſs die undurchsichtigen Körper (unter denen fast einzig die Metalle, als wahrhaft undurchsichtig anzusehen wären) aus harten und weichen Theilchen gemischt beständen. Die weichen Theilchen, als unfähig die Undulationen fortzupflanzen, wären Ursache der Undurchsichtigkeit; aber da die Metalle das Licht so mächtig reflectiren, so müsse man annehmen, daſs sie auch harte Theilchen, die diese Zurückwerfung bewirken, enthielten. Die durchsichtigen Körper beständen daher nur aus harten Theilchen, die Elasticität genug besäſsen, um in Verbindung mit den Aethertheilchen die Vibrationen fortzupflanzen [1]. L. Euler sieht es als eine nothwendige Eigenschaft durchsichtiger Körper an, daſs die Theilchen derselben eine Zusammendrückung leiden, und die durch die Schwingungen des Aethers ertheilten Vibrationen von einem Theilchen zum andern mittheilen können [2].

Versuche über die Durchsichtigkeit der Körper und den Lichtverlust beim Durchgange durch dieselben.

Selbst die Körper, die wir als undurchsichtig anzusehen gewohnt sind, lassen, wenn sie in sehr dünne Blättchen zerschnitten werden, Licht durch, wenigstens findet dies bei vielen derselben statt. Es lieſse sich daher ein Mittel zur Abmessung der Durchsichtigkeit denken, nämlich bei verschiedenen Körpern die Dicke der Blättchen abzumessen, die gerade hinreichte, um einen bestimmten Gegenstand noch zu erkennen oder nicht mehr zu erkennen. Des Lambadius Pl-

---

1 Hugenii opp. reliqua. Tractatus de lumine. p. 26.

2 Nova theoria lucis, §. 102. in Euleri opuscula. Berolini 1746.

tometer würde sich hierzu mehr, als zur Abmessung des Lichtes verschiedener leuchtender Körper schicken [1].

Die Untersuchungen über den Grad der Durchsichtigkeit sind nur von Wichtigkeit bei denjenigen Körpern, durch welche wir zu sehen pflegen, also vorzüglich beim Glase, über dessen Durchsichtigkeit Lambert, Bouguer und Rumford Versuche angestellt haben. Lamberts Versuche sind ungefähr auf folgende Art angestellt [2]: Wenn man zuerst sich einen vollkommnen durchsichtigen Körper denkt, so ist offenbar, daſs alles auffallende Licht sich in durchgehendes und in zurückgeworfnes zerlegt; daher wenn man zwei gleiche Glastafeln A C, B D, auf A B senkrecht aufstellt, und parallele Strahlen E C, F D, G B auffallen läſst, so wird der Raum A B vermittelst der durch B D durchgehenden und der von A C zurückgeworfenen Strahlen genau so erleuchtet werden, wie vom freien Lichte, wenn der Abstand A B so gewählt ist, daſs F D gerade nach A gelangt, und folglich E C nach B zurückgeworfen wird. Fig. 203.

Wenn man die zurückwerfende Glasscheibe anders neigte, wie C D es zeigt, so ist die Menge des von C D zurückgeworfnen Lichtes gröſser, und man kann daher durch eine Aenderung des Neigungswinkels D C A die Menge des auf C E auffallenden Lichtes vermehren, und dadurch den Verlust, der beim Durchgange durch A B statt findet, ersetzen. Nach diese Ueberlegungen wird folgender Versuch, bei dessen genauer Berechnung die Artikel *Erleuchtung* und *Zurückwerfung* (photometr. Unters. über die Zurückwerfung) zu Rathe gezogen werden müssen, verständlich seyn. Man stelle auf einer weiſsen Fläche C A eine darauf senkrechte Glasplatte auf, für welche die Schwächung des durchgehenden Lichtes soll untersucht werden. Man lasse parallele Lichstrahlen M B, I K auf sie auffallen, die durch sie hindurchgehend den Raum bis an C, den man deshalb zum untersten Puncte der zweiten Platte wählt, erleuchten; diese zweite Platte C D, auf welche gleichfalls Lichtstrahlen L D, M C, den vorigen parallel auffallen, Fig. 204. Fig. 204.

1 Lampadius Beiträge zur Atmosphärologie. Accum über d. Gaslicht. übers. von Lampadius 1816. p. 31.

2 Photometria. §. 332 und 459.

bringt man nach und nach in verschiedene Stellungen, bis der Raum C E, der vermittelst der durch die erste Platte durchgelassenen und der von der zweiten Platte zurückgeworfenen Strahlen erleuchtet wird, sich eben so hell erleuchtet zeigt, als ein daneben liegender von frei auffallendem Lichte erleuchteter Raum. Hat man diese Stellung gefunden, so mifst man alle Winkel und rechnet so, wie ich es jetzt an einem von Lambert gegebnen Exempel zeigen will.

Es war M C A = 49°, also C B A = 41°, da A B senkrecht auf A C stand; ferner D C E = $74\frac{1}{2}$°, also D C B = $25\frac{1}{2}$°, und eben so grofs ist E D C, als Zurückwerfungswinkel, der dem Einfallswinkel gleich ist, folglich D E C = 80°.

Das frei auf die Ebene A C auffallende Licht war also unter dem Winkel M C E = 41° gegen die Ebene, oder unter dem Winkel = 49° gegen das Einfallsloth geneigt, und da die Erleuchtung dem Sinus des letztern Winkels proportional ist, so betrug sie nur 0,7547 von dem, was bei senkrecht auffallendem Lichte statt fände. Eben so grofs war die Erleuchtung in C E, die wir nun berechnen wollen. Lambert wufste aus andern Versuchen, dafs bei dem Winkel C B A = 41°, das durchgehende Licht, selbst bei *vollkommener* Durchsichtigkeit nur 0,8704 des auffallenden beträgt, indem das übrige reflectirt wird, aber die Erleuchtung, welche dieses Licht = 0,8704 in C E hervorbringt, ist nun wieder nur dem Sin. 49° = 0,7547 proportional, also = 0,8704 × 0,7547 = 0,6569. So grofs wäre die Erleuchtung, wenn gar kein Licht verloren ginge und kein andres Licht durch Zurückwerfung hinzukäme. Aber eben die Versuche hatten ihn gelehrt, dafs von dem Lichte was unter einem Winkel = B C D = $25\frac{1}{2}$ Gr. auffällt, nur 0,2623 zurückgeworfen wird, welches da D E C = 80° ist, eine Erleuchtung = 0,2623 × Sin. 80° = 0,2623 × 0,9848 = 0,2587 hervorbringt. Die Summe der Erleuchtung in C E, wenn das Glas vollkommen durchsichtig wäre, würde also seyn 0,6569 + 0,2587 = 0,9156. Wegen der mindern Durchsichtigkeit des Glases müfsten wir aber den ersten Theil = 0,6569 — x setzen, also 0,6569 — x + 0,2587 = 0,9156 — x. Aber eben diese Erleuchtung ward der directen Erleuchtung = 0,7547 gleich gefunden, also x = 0,1609, welches nahe $\frac{1}{6}$ oder zwi-

en $\frac{4}{25}$ und $\frac{5}{31}$ ist. Also ein bei dem zum Versuche gewählgrünen Glase sehr erheblicher Lichtverlust.

Rumford's Versuche [1] sind einfacher. Er bediente sich ier Argand'scher Lampen, die durch Vergröſserung oder Vernerung des Dochtes zu einer völligen Gleichheit gebracht den. Stellte man diese in gleiche Entfernungen von dem cte, wohin beim Rumford'schen *Photometer* die Schatten n, so fand sich die Erleuchtung gleich, oder vielmehr in Beobachtung dieser gleichen Erleuchtung lag eben das Mitsich von der Gleichheit der Lampen zu überzeugen. Jetzt d vor die eine Lampe die Glasplatte gestellt, deren Durchtigkeit man bestimmen wollte, und sodann die so geächte Lampe näher gerückt, bis die Erleuchtung beider er gleich war. Die ungleiche Entfernung gab dann [2] das der Erleuchtung wie es seyn würde, wenn die Glasplatte keiLichtverlust bewirkte und folglich erhielt man so die Gröſse Lichtverlustes. Diese Versuche haben in Vergleichung mit Lambert'schen den Nachtheil, daſs sie nicht eigentlich den der Durchsichtigkeit bestimmen, sondern den gesammten tverlust, der vorzüglich durch Zurückwerfung an beiden flächen entsteht, also nicht das absorbirte Licht allein an- g [3]. Rumford fand, daſs ein feines, gut polirtes Spiegelnur 0,8027 des auffallenden Lichtes durchlieſs; mehrere iche gaben den Lichtverlust zwischen 0,172 und 0,211. ehr dünnen Tafeln von hellem, farbenlosem, ungeschliffe- Glase war der Verlust nur 0,126. Diesen gesammten Lichtst zu kennen ist bei Fernröhren wichtig, um das zu beaen, was Herschel ihre raumdurchdringende Kraft nennt. h hat auch Herschel ihn zu bestimmen gesucht, jedoch für Gläser von geringer Dicke, wie sie ungefähr bei optiGläsern von kurzen Brennweiten vorkommen; er fand, ein solches Glas 0,948 des Lichtes durchlieſs [4].

Grens neues Journal. II. 44.
Vergl. *Erleuchtung*.
Bouguer hat schon ein ganz ähnliches Verfahren angegeben in Optice de diversis luminis gradibus dimetiendis. p. 10.
Astron. Jahrb. 1804. S. 237

An die eben erwähnten Untersuchungen läſst sich noch eine Reihe von Folgerungen anknüpfen. Wenn eine Glasplatte das Licht in dem Verhältniſs 0,8 zu 1 schwächt, so wird, wenn dieses geschwächte Licht auf eine zweite Platte fällt, nur 0,8 des noch übrigen Lichts durchgehen, also lassen zwei Platten nur 0,64 des zuerst auffallenden Lichtes durch, drei Platten nur 0,512 oder etwa nur die Hälfte des auffallenden Lichts, sechs Platten nur etwa ein Viertel, neun Platten nur ein Achtel, 12 Platten nur $\frac{1}{16}$, 15 Platten nur $\frac{1}{32}$ des auffallenden Lichtes u. s. w. Stellt man also sehr viele Glasplatten vor einander, so werden sie endlich einen kaum noch merklichen Theil des Lichtes durchlassen oder sich endlich als undurchsichtig zeigen. Bouguer hat [1] einen solchen Versuch mit Glastafeln, die das Licht etwas stärker schwächten, angestellt, wo nämlich 16 Glastafeln nur $\frac{1}{247}$ durchlieſsen; wenn man von solchen Tafeln 74 vor einander stellte, so war durch sie, selbst wenn die Sonne hoch am Himmel stand, nur noch ein matter Schein des Sonnenlichts übrig. Die Rechnung zeigt, daſs 74 Gläser dieser Art nur $\frac{1}{116472000000}$ durchlassen, und da Bouguer sich überzeugt hielt, daſs 80 Gläser, welche der Rechnung zufolge nur $\frac{1}{919358636007}$ durchlassen, uns als völlig undurchsichtig erscheinen würden, so haben wir da ein Beispiel, wie die völlige Undurchsichtigkeit aus dem allmähligen Lichtverluste entspringt. Eine Masse Meerwasser von 679 Fuſs Dicke würde, nach Bouguers Versuchen, eben so gar keine Sonnenstrahlen mehr durchlassen, das heiſst, kein unserm Auge noch merkliches Licht.

Bestimmung des Lichtverlustes beim Durchgange des Lichts durch die Atmosphäre.

Wenn ein gleichartiger Körper nicht vollkommen durchsichtig ist, so nehmen wir an, daſs der Lichtverlust bei gleichem Fortgange ein bestimmter Theil $= \frac{1}{n}$ des noch übrigen Lichtes, überdas aber der Zunahme des durchlaufenen Weges

---

1 Optice. p. 132.

proportional sey. Heifst daher s den durchlaufene Weg, v die noch vorhandene Lichtmenge oder Lichtstärke, so ist

$$dv = -\frac{1}{n} v \,.\, ds, \quad \text{also}$$

$$-\frac{dv}{v} = \frac{1}{n} ds,$$

$\log. \frac{A}{v} = \frac{1}{n} s$, wo A die beigefügte Constante ist. War also die Lichtstärke $= a$ für $s = 0$, so ist $\log. \frac{a}{v} = \frac{1}{n} s$,

oder $v = a \,.\, e^{-\frac{1}{n} s}$, wo e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen ist. Um die Zahl n zu bestimmen, müfste v durch einen Versuch für einen gegebenen Werth von s bekannt seyn. Die am Ende des Art. *Aether* geführte Rechnung giebt ein Beispiel hierzu.

Um die Schwächung des durch die ganze Atmosphäre zu uns gelangenden Lichtes zu bestimmen, dient folgende Ueberlegung: Wäre die Erde eine Ebene und die Schichten gleicher Dichtigkeit in der Atmosphäre mit ihr parallel, so würde für jeden schief einfallenden Strahl die Länge des Weges in jeder Schicht $= s.$ Sec. A B D oder v w = t u : Sec. A B D seyn, wenn er für den verticalen Strahl $= s$ ist. Und obgleich wegen der in der Höhe abnehmenden Dichtigkeit der Lichtverlust anders angesetzt werden müfste, nämlich für jede Luftschicht der Dichtigkeit proportional, so ist doch der ganze Lichtverlust, wenn A B D $= \gamma$ ist, für den Strahl D B durch die Gleichung Fig. 205.

$$v = a \,.\, e^{-\frac{1}{n} s.\,\text{Sec.}\,\gamma}$$

gegeben, wenn für den Strahl A B,

$$v = a \,.\, e^{-\frac{1}{n} s}$$

ist, und v bedeutet die Intensität des noch übrigen Lichts, a die Intensität des Lichtes, wie es an der äufsersten Grenze der Atmosphäre ist. Die Erde ist nun zwar keine Ebene und die Luftschichten sind kugelförmig; aber für nicht zu grofse Ab-

stände vom Zenith kann man die vorige Rechnung als ziemlich richtig beibehalten.

Lambert führt einen Versuch von Bouguer an, nach welchem die Intensität des Sonnenlichtes bei 66 Grad Höhe $1\frac{1}{2}$ mal so groß als bei 19° Höhe ist, also

$$e^{-\frac{1}{n} s. \text{ Sec. } 24^\circ} : e^{-\frac{1}{n} s. \text{ Sec. } 71^\circ} = 3 : 2$$

oder $\frac{1}{n}$ s. Sec. $71^\circ = \log. \frac{3}{2} + \frac{1}{n}$ s. Sec. 24°

und $\frac{1}{n}$ s. $= \frac{\log. \text{ nat. } \frac{3}{2}}{\text{Sec. } 71^\circ - \text{Sec. } 24^\circ}$

$$= \frac{0{,}405465}{1{,}97692} = 0{,}2051.$$

Die Intensität des vertical zur Erde gelangenden Lichts ist also:

$$v = a \,.\, e^{-0{,}2050}$$

$$v = a.\ 0{,}8141,$$

oder der Lichtverlust beim verticalen Durchgange durch die Atmosphäre beinahe $= \frac{1}{5}$.

Lambert giebt die Schwächung nach seinen eignen Experimenten noch stärker, nämlich über $\frac{2}{5}$ an; ich glaube aber nicht, dafs seine auf die ungleiche Erwärmung, nämlich auf das ungleiche Steigen des Thermometers in der Sonne und im Schatten, gegründeten Schlüsse für sicher gelten dürfen. Bouguer's Versuch [1] ist dagegen ganz nach den Regeln der Photometrie angestellt, indem er das Mondlicht, als der Mond 19° und als er 66° hoch stand, mit der Intensität des Kerzenlichts verglich.

Für die Strahlen, welche unter einem sehr kleinen Winkel gegen den Horizont geneigt zum Auge kommen, müfste man die Rechnung anders führen, indem da die Kugelgestalt der Luftschichten in Betrachtung gezogen werden müfste [2]; aber die Versuche, welche den Lichtverlust in der Atmosphäre bei hö-

---

1 Bouguer Opt. p. 33.

2 Lambert giebt dazu zwar Anleitung, Photom. §. 885; aber die Integration liefse sich in Zahlen besser ausführen, wenn man sich der Methode der Quadraturen bediente.

heren Stellungen der Sonne bestimmen, müfsten noch erst genauer wiederholt werden.

Saussüre hat, um die verschiedene Durchsichtigkeit der Atmosphäre zu verschiedenen Zeiten zu untersuchen, eine eigne Veranstaltung unter dem Namen *Diaphanometer* vorgeschlagen. Er geht dabei von dem Satze aus, dafs uns zwei ganz ähnliche, nur an Gröfse verschiedene Gegenstände gleich gut sichtbar seyn müssen, wenn der eine so viel entfernter ist als der andre, dafs die Sehewinkel gleich werden; findet sich darin eine Verschiedenheit, so liegt diese in der unvollkommnen Durchsichtigkeit der Luft. Da er fand, dafs ein schwarzer Kreis auf weifsem Grunde und eben so ein weifser Kreis auf schwarzem Grunde allerlei täuschende Erscheinungen darbiete, so dafs man über die genaue Entfernung, in welcher man einen solchen Kreis nicht mehr erkennt, nicht mit sich einig werden kann, und da diese Unsicherheit wegzufallen schien, wenn man den schwarzen Kreis nur mit einem weifsen Ringe umgab, und diesen mit Grün umgrenzte, so gab er seinem Diaphanometer folgende Einrichtung. Auf einer grofsen Tafel, die ein Quadrat von 8 Fufs Seite darstellte, wurde in der Mitte ein Kreis von 2 Fufs Durchmesser mit schwarzem Wollenzeuge bedeckt, um diesen ein 2 Fufs breiter Ring mit weifser Leinwand bedeckt, und der übrige Raum rund umher grün überkleidet. Dieser grofsen Tafel wurde eine ganz ähnliche kleine beigefügt, deren Seite 8 Zoll hielt, in deren Mitte ein Kreis von 2 Zoll Durchmesser schwarz bekleidet, mit einem 2 Zoll breiten weissen Ringe umgeben war, und rund umher alles grün bedeckt wurde. Wäre nun die Luft vollkommen durchsichtig, so müfste die grofse Tafel mit ihren Kreisen in der 12 fachen Entfernung noch eben so deutlich zu erkennen seyn, als die kleine Tafel in der 1 fachen Entfernung; aber wegen der unvollkommenen Durchsichtigkeit der Luft findet man einigen Unterschied. Zum Beispiel bei einer Beobachtung hörte der kleine Kreis in der Entfernung $= 314$, der grofse in der Entfernung $= 3588$ auf sichtbar zu seyn, und hier sollte eigentlich $314 : 3588$ sich wie $1 : 12$ verhalten, das Verhältnifs ist aber $1 : 11{,}427$, das von dem entfernteren Gegenstande zum Auge kommende gesammte Licht ist also nur $= \frac{11{,}427}{12} = 0{,}9523$,

wenn das Licht durch 3588 Fuſs oder noch richtiger wohl du
(3588 — 314) = 3274 Fuſs Luft geht. Dies in die For

$$v = a \,.\, e^{-\frac{1}{n} s}$$ gesetzt, gäbe

$$0{,}9523 = e^{-\frac{3274}{n}},$$

oder $\log. \text{br. } 0{,}9523 = -\frac{3274}{n} . \log. \text{br. } e$,

das ist $n = \frac{3274 \,.\, 0{,}434294}{0{,}021226} = 66980.$

Daraus müſste man also schlieſsen, daſs für eine Ent
nung = 24500 Fuſs

$$v = a \,.\, e^{-\frac{24500}{66980}}$$ seyn müsse,

also v = a . 0,6937. Da nun die ganze Luftsäule von de
de bis an das Ende der Atmosphäre eben so viel wiegt, als
24500 Fuſs hohe Luftsäule von der Dichtigkeit wie die u
Luft, so möchte hiernach der Lichtverlust bei Strahlen, die v
tical durch die ganze Atmosphäre gehen, wohl 0,3 betrag
indeſs ist der Schluſs vom Kleinen aufs Groſse unsicher, u
wenn man bei dem *Diaphanometer* die Lichtstärke = 0
in 3600 Fuſs Entfernung setzte, so fände man sch
n = 88180, oder den ganzen Lichtverlust bei senkrecht d
die ganze Atmosphäre gehenden Strahlen so, daſs v = 0,
bleibt. Bis bessere Beobachtungen etwas andres lehren, w
man also wohl annehmen dürfen, daſs die Lichtstrahlen n
bis $\frac{4}{5}$ der Intensität, welche sie auſser der Atmosphäre hatt
behalten, wenn sie durch die ganze Atmosphäre vertical h
abgehen. Die groſse Schwächung des Sonnenlichts, wenn
Strahlen kurz vor dem Untergange der Sonne durch viele M
len der untern Luftschichte fortgehen, läſst sich hieraus w
erklären; denn wenn der Lichtstrahl durch 30 Meilen der
tern Luftschichten geht, so kann seine Intensität kaum
$\frac{1}{1000}$ derjenigen Intensität betragen, die er bei verticaler Ri
tung hatte. *B.*

Dynameter. S. Auzometer.

Dynamik.

Dynamica; Dynamique; *Dynamics;* (von δύναμις Kraft) bezeichnet die Lehre von den Kräften und den durch sie erzeugten Wirkungen, namentlich den Bewegungen. Hiernach fällt sie im Wesentlichen mit der Mechanik zusammen, und der Ausdruck ist auch zuerst von Leibnitz gebraucht, um den abstractesten Theil der höheren Mechanik, nämlich die Untersuchungen über die bewegenden Kräfte im Allgemeinen und die Gesetze der dadurch erzeugten Bewegungen zu bezeichnen. Derjenige Theil der Dynamik, welcher sich hiernach mit den Untersuchungen der Bewegungen im Allgemeinen und des Wesens, Ursprunges und Zusammenhanges der bewegenden Kräfte im Besondern beschäftigt, ist zwar im hohen Grade speculativ, und kann in gewisser Beziehung füglich metaphysisch genannt werden, allein die eigentliche *metaphysische Dynamik* ist erst in den neuesten Zeiten seit Immanuel Kant und seinen Anhängern allgemeiner bekannt geworden. Man hat seitdem das Wort Dynamik in einer von dem früheren Sprachgebrauche ganz abweichenden Bedeutung genommen, einige haben es sogar hierfür allein und ausschliefslich usurpiren wollen, und obgleich dieses blofs in Deutschland geschehen ist, im Auslande aber bei den bedeutenden Gelehrten durchaus keine Nachahmung gefunden hat, so dürfen wir doch hier füglich beide Bedeutungen des Wortes trennen, und somit einen Unterschied zwischen der metaphysischen Dynamik und der mathematischen festsetzen.

1. Metaphysische Dynamik.

Man versteht in Deutschland unter Dynamik, oder dem in dieser Beziehung gleichbedeutenden dynamischen Systeme, diejenige Theorie mancher Physiker, wonach sie annehmen, dafs die Materie nicht an und für sich und durch sich selbst existirt, den Raum erfüllt, sich bewegt und Veränderungen zeigt, sondern dafs ihr gewisse *Kräfte*, und zwar *Grundkräfte* oder *Urkräfte*, zum Grunde liegen, durch welche sie selbst erst Existenz erhält, wirkt und sich verändert. Unter diesen Kräften verstehen dann die meisten die *Ziehkraft* und *Dehnkraft* (Anziehung und Abstofsung), weil Kant zu beweisen suchte, dafs ohne diese die Materie nicht seyn, nicht existiren könne,

oder dafs sie zum Wesen derselben nothwendig gehörten, ohne jedoch damit im Sinne der nach ihm sich nennenden *Dynamiker* behaupten zu wollen, dafs die Materie durch diese Kräfte erst ihre Existenz erhalte, oder dafs alle Qualitäten und Veränderungen der Materie auf dieselben zurückgeführt werden könnten. Der Consequenz nach können die Anhänger dieser Dynamik (die *Dynamiker* im Gegensatze der *Atomistiker*) nicht zugeben, dafs die Materie überhaupt, oder vielmehr irgend eine specielle Materie, die eines gegebenen Körpers, bei fortgesetzter Theilung ihre individuellen Qualitäten beibehalte, oder dafs dieselbe aus untheilbaren Elementartheilchen, Atomen, bestehe, deren specifische Beschaffenheit die Eigenschaften ihres Körpers bedinge; nach ihnen führt vielmehr jede Theilung eines materiellen Körpers nicht etwa zum *physisch unendlich Kleinen* (dem physisch Unmefsbaren) sondern zum *geometrisch unendlich Kleinen*, d. h. die Materie als solche verschwindet, und geht in die sie constituirenden Grundkräfte über. Auf gleiche Weise beruhen die individuellen Qualitäten der Materie überhaupt und eines jeden gegebenen Körpers nicht auf eigenthümlichen Beschaffenheiten, auf der Wesenheit der sie constituirenden Bestandtheile (Elemente, Atome, Molecülen), sondern auf dem Conflicte der die ganze Natur begründenden, die Materie nebst ihren Eigenschaften und Veränderungen bedingenden, Grundkräfte [1].

Die Kantischen Grundkräfte, nämlich Dehnkraft und Ziehkraft, sind schon gelegentlich genannt; auch ist schon erwähnt, dafs die Theorie der Dynamiker keineswegs erst durch Kant oder seine Anhänger erfunden sey [2], eine gründliche Prüfung derselben würde aber hier nicht am rechten Orte seyn, indem es vielmehr nur auf die genaue Bestimmung desjenigen ankommt, was man unter *Dynamik* zu verstehen habe, die hierbei gelegentlich mit angeregte wichtige Frage über das Wesen und die Existenz der Körper selbst aber erst unter dem Art. *Materie* zur nähern Untersuchung kommen kann.

---

1 Vergl. J. C. Fischer Physikalisches Wörterbuch. I. 751. VIII. 458. Klaproth und Wolf chemisches Wörterbuch I. 684.

2 Vergl. Th. I. p. 122.

2. Mathematische Dynamik.

Einige verstehen unter Dynamik, in so fern diese zur Mathematik gehörig betrachtet wird, den höheren oder abstracteren Theil der Mechanik überhaupt, also die allgemeinen Bewegungsgesetze, welche dann, auf feste Körper angewandt, unter der *Dynamik* schlechthin, auf tropfbar flüssige unter *Hydrodynamik* und auf expansibele unter der *Aërodynamik* oder *Pneumatik* zusammen genommen werden. Wenn gleich diese Begriffsbestimmung dem Sprachgebrauche nach die gangbarste ist, so müssen wir doch noch einige andere berücksichtigen. Einige Gelehrte nämlich geben der höheren Mechanik oder allgemeinen Bewegungslehre zwei Haupttheile, nämlich *Dynamik* und *Phoronomie*, wovon jene die abstracten Gesetze der Bewegung, diese die Untersuchung der bewegenden Kräfte begreift [1]. Diese Unterscheidung ist aber nie bleibend beibehalten, sondern man ist im Allgemeinen dabei stehen geblieben, die Dynamik als einen Theil der Mechanik zu betrachten, oder vielmehr theoretische Mechanik und Dynamik als gleichbedeutend zu gebrauchen, während der Ausdruck Phoronomie bei den klassischen Schriftstellern über die Mechanik nur selten vorkommt [2]. Uebrigens liefse sich auch mit genügenden Autoritäten beweisen, dafs alle drei Ausdrücke, nämlich *Phoronomie*, *Dynamik* und *Mechanik* als völlig gleichbedeutend gebraucht werden, wie unter andern aus dem Titel von drei der wichtigsten Werke über diesen Ge-

---

1 Diesem ähnlich, aber vom gewöhnlichen Sprachgebrauche etwas abweichend, sind die Bestimmungen KANT's in Metaphysische Anfangsgründe d. Naturwissenschaft. 3te Aufl. Leipz. 1800. p. XX. wonach die *Phoronomie* die *Bewegung* als ein reines *Quantum*, nach seiner Zusammensetzung, ohne alle Qualität des Beweglichen betrachtet; die *Dynamik* aber die *Bewegung* als zur *Qualität* der Materie gehörig, unter dem Namen einer *ursprünglich bewegenden Kraft*, in Erwägung zieht.

2 J. Leslie in Elements of natural philosophy. Edinb. 1823. I. 70. handelt von den allgemeinen Bewegungsgesetzen unter dem Titel Phoronomics, welches er früher mit dynamics gleichbedeutend annimmt. Sonst findet man den ersteren Ausdruck auch bei englischen Schriftstellern nicht häufig.

genstand hervorgeht, nämlich Hermann's Phoronomie [1]; d'Alembert's Dynamik [2] und Euler's Mechanik [3].

Bleibt man endlich bei demjenigen stehen, was in den neuesten Zeiten durch den Sprachgebrauch sowohl in Deutschland als auch namentlich in England und Frankreich festgesetzt ist, so begreift die *Dynamik*, sofern sie zur Mathematik gehört, die allgemeinen Bewegungsgesetze, und zerfällt dann wieder in zwei Theile, einen allgemeineren und einen specielleren. Der erstere derselben bezieht sich auf die Bewegungsgesetze aller Körper ohne Unterschied ihrer Beschaffenheit, namentlich aber auf die Untersuchung der bewegenden Kräfte, mithin zum Theil auch auf dasjenige, was die Engländer *corpuscular forces* nennen, also Anziehung, Abstofsung u. dgl. Hierzu gehören ferner die sehr speculativen Fragen, ob eine Kraft ohne wirkliche Annäherung des Körperlichen wirken könne, namentlich L. Euler's Satz: *nihil movetur nisi a contiguo et moto*; der vielbestrittene Satz über die Möglichkeit einer Wirkung in die Ferne (*actio in distans*); ob alle Bewegung von einem Drucke oder einem Stofse abzuleiten sey, oder der Materie überhaupt ein Impuls zur Bewegung zukomme; ob die Materie mit den bewegenden Kräften nothwendig verbunden sey oder als getrennt davon gedacht werden könne und andere mehr [4]. Seitdem aber in den neuesten Zeiten die Mechanik als eigentliche wissenschaftliche Disciplin die bedeutendsten Fortschritte gemacht hat, sind alle diese Untersuchungen weit weniger beachtet, weil man zu der Ueberzeugung gekommen ist, dafs das Wesen der Materie und der ihr inwohnenden Kräfte durch Speculation nicht erkannt werden kann, auf dem Wege der Erfahrung aber noch keineswegs hinlänglich ergründet ist. Es ist daher mehr Fleifs auf die Bearbeitung des specielleren Theiles der Dynamik, nämlich die eigentlichen Bewegungsgesetze, verwandt, und man darf annehmen, dafs gegenwärtig der Sprachgebrauch minde-

---

1 Phoronomia seu de viribus et motibus corporum solidorum et fluidorum libri duo; auct. Jacobo Hermanno. Amst. 1716. 4.

2 Traité de dynamique cet. par d'Alembert. nouv. ed. Par. 1756. 4.

3 Mechanica, sive motus scientia, analytice exposita, auct. L. Eulero. Petrop. 1736. II. vol. 4.

4 Vergl. Robison System of Mechanical Philosophy. Edinb. 1822. IV vol. 8. I. 8 ff.

tens ziemlich allgemein festgesetzt ist, in so fern unter Dynamik schlechtweg die Bewegungsgesetze fester Körper verstanden werden, also *Stereodynamik* im Gegensatze der Stereostatik, und diesem analog die Bedeutungen der Ausdrücke *Hydrodynamik* und *Aërodynamik* festgesetzt sind. Die Literatur der Dynamik fällt also mit den Werken über höhere Mechanik zusammen, und kann somit hier übergangen werden [1]. *M.*

Dynamometer.

Kraftmesser; Dynamomètre; *Dynamometer.* Ein Instrument, welches nach einem angenommenen Gewicht (Pfunden, Kilogrammen, Centnern) die Kraft angiebt, die ein Mensch oder ein Thier, oder auch der Beweger einer Maschine unter gegebenen Umständen hervorbringt. Schon früher hatten Graham und Leroy Werkzeuge hierzu angegeben. Der Kraftmesser des Ersteren bestand aus einem großen hölzernen Gestelle, in welchem ein Winkelhebel A C B an einer Queraxe x x beweglich war. Der längere Hebelarm B C lag horizontal und trug ein schweres Laufgewicht P; die Kraft wirkte am kürzern Hebel A C. So maſs man die Armstärke eines Mannes, indem dieser mit der einen Hand das Querstück A, mit der andern den Griff D des unbeweglichen Pfostens D E faſste, und beide einander zu nähern suchte. Leroy bediente sich einer metallenen Röhre von 1 Fuſs Länge, die auf einem Fuſse wie ein Leuchter aufrecht stand. In dieser gleitete eine eingetheilte Stange, die oben eine Kugel trug und unten gegen eine starke Spiralfeder in der Röhre drückte. Mit dem Finger der Hand trieb man die Kugel nieder, und las an der Stange das Maſs der angewandten Kraft.

Fig. 206.

Leroy's Idee, so unbrauchbar sie auch war, hatte wenigstens das Verdienst, die Federkraft an die Stelle des unbequemen Hebels gesetzt zu haben. Diese benutzte auch Regnier, den die Naturforscher Büffon und Gueneau de Montbelliard zur Erfindung eines solchen Instrumentes aufgefordert hatten, bei dem von ihm angegebenen Kraftmesser, der an Bequem-

---

1 Vergl. Encyclopédie méthodique. Par. 1816. II. 784.

lichkeit der Anwendung, Sicherheit der Angaben und Ausdehnung seiner Scale wenig zu wünschen übrig läfst.

Fig. 207. I H I K ist ein ovaler Ring von federhartem Stahl, etwa 4 bis 5 Lin. dick, und 12 Zoll lang. Ueber I ist er, um ihn bequemer anfassen zu können, mit Leder überzogen, das inwendig ein wenig fett gemacht ist, damit sich kein Rost erzeuge. Seine elliptische Form ist gegen die Enden I K etwas eingedrückt, damit man ihn mit beiden Händen nach der Richtung der kleinen Axe zusammendrücken könne. Diese Wirkung wird durch den Hebel G E F bemerkbar gemacht, welcher beide Schenkel des Dynamometers verbindet. An dem einen ist nämlich das Stück G H mit einer durchgehenden Schraube befestigt, der andere trägt vermittelst der Schraube f den Steg D G b, an welchem der Stützpunct E des Hebels G b E F und das Centrum des Zeigers C P sich befindet. Dieser Zeiger, der durch Reibung festsitzt, steht unter dem Zeiger E F, und wird durch einen am Letztern unterhalb befindlichen Knopf oder Stift fortgeschoben. Er ist dünne, und etwas elastisch, damit er nicht durch die, bei der Kraftanstrengung erfolgenden, Erschütterungen selbst in eine schwankende Bewegung versetzt werde. Die Excentricität des Hebels E F gegen den Zeiger C P hat allerdings zur Folge, dafs bei gleichen Winkeländerungen des Erstern die von dem Letztern durchlaufenen Bogen nicht von gleicher Gröfse bleiben, sondern gegen M hin zunehmend sind, und diese Ungleichheit wird durch ungünstige anfängliche Lage des kleinen Hebels b E noch verstärkt; da jedoch die Eintheilung auf praktischem Wege durch spannende Gewichte gemacht wird, so hat dieses auf die Genauigkeit des Werkzeuges selbst keinen Einflufs, wofern man nur die Vorsicht gebraucht, nicht etwa nur einzig das höchste Gewicht anzuhängen, und die Untertheilungen mit dem Cirkel auszumachen, sondern diese durch die erforderlichen kleinern Gewichte selbst einzeln zu bestimmen. Fig. 207. Die kleinen Kreise n n n, stellen drei niedrige Pfeiler vor, auf welchen ein Messingblech von der Form des oben beschriebenen Apparates als Deckel aufgeschraubt wird; zwischen seinen Schenkeln C A und C B ist jedoch die Fläche des Sectors bis auf L weggeschnitten.

Der Gebrauch dieses Instrumentes ist zweifach: einmal für geringere Kräfte, welche directe zusammendrückend auf die

beiden Schenkel des Dynamometers wirken; sodann auch für stärkere, welche an den Enden I und I' angebracht, durch ihren Zug die Ellipse ausstrecken und so ebenfalls ihre kleine Axe verkürzen. Da jedoch in dem letzteren Falle die Kraft viel ungünstiger wirkt, als im ersteren, so ist für diesen Gebrauch des Instrumentes eine zweite Eintheilung erforderlich, welche innerhalb der Ersteren auf dem Sector A M B sich befindet, und durch die kleine pfeilförmige Spitze in dem durchbrochenen Vorderstücke des Zeigers C P bezeichnet wird. Bei Regniers Dynamometern gieng jene bis 120, diese bis 1000 Kilogrammen. In beiden Fällen, wenn der Zeiger auf dem Maximum der Eintheilung stand, wurde die kleine Axe der Ellipse, die inwendig etwa 25 Lin. maſs, um $4\frac{1}{2}$ Lin. verkürzt. Das ganze Instrument wog ein Paar Pfunde, und vermochte also mehr als das Tausendfache seines Gewichts anzugeben. Begreiflich läſst sich dieses Vermögen durch Vergröſserung des ganzen Werkzeuges in beliebigem Maſse selbst bis zur Messung der Kraft groſser Maschinen steigern; allein man kann, wie Regnier selbst bemerkt, mit seinem Dynamometer sehr bedeutende Kräfte messen, wenn man dieselben nicht directe, sondern durch Flaschenzüge darauf wirken läſst und so die Eigenschaft dieser Letzteren, die Kraft nach der Zahl der parallelen Stränge zu vervielfachen, in umgekehrtem Sinne benutzt. Wollte man z. B. nur die Hälfte einer zu messenden Kraft K auf das Dynamometer D O wirken lassen, so befestige man dieselbe an das Centrum der Rolle F, schlinge um diese eine Saite, deren eines Ende an dem unbeweglichen Puncte A, das andere am Ende O des Dynamometers befestigt ist, das hinwiederum von dem fixen Puncte Q festgehalten wird. Der Zug, welchen die Kraft K ausübt, wird sich dann auf die beiden festen Puncte A und Q vertheilen, so daſs das Instrument nur die Hälfte desselben zu tragen bekommt. Daſs man hierin noch weiter gehen, und dem Instrumente nur den dritten, vierten, fünften Theil der Kraft zutheilen könnte, ist leicht einzusehen. Bei groſsen Kräften würde allerdings die Steifigkeit der Seile der Genauigkeit einigen Eintrag thun; doch schwerlich in dem Maſse, daſs dieses bei Bestimmungen, die meistens nur näherungsweise verlangt werden, in Betrachtung kommen dürfte.

Fig. 208.

Wie man die Kraft der Hände prüfe, ist bereits oben angedeutet worden, und aus der Zeichnung zu ersehen. (Fig. 209.) Man fafst das Instrument mit beiden Händen möglichst nahe an der Mitte zwischen Daumen und Finger, und findet das Mafs der Zusammendrückung auf dem äufsern Gradbogen. Nach Regnier ist die mittlere Stärke eines Mannes in dieser Anwendung etwa 50 Kilogrammen (102 ℔.) Die Summe der Angaben für jede einzelne Hand ist so ziemlich der Kraft der beiden vereinten Hände gleich. Die rechte Hand ist indefs gemeiniglich die stärkere. Die Kraft der Rücken- und Armmuskeln zu erproben, bedient man sich einer eisernen eingekerbten Schiene GH, (Fig. 210.) auf deren horizontales Querstück AB man die Füfse setzt. Man hängt das Ende I des Dynamometers in angemessener Höhe in einen der Einschnitte ein und fafst das andere Ende mit dem Haken Q, (Fig. 211.) dessen Handgriff man in etwas vorgebückter Stellung mit beiden Händen ergreift. Die mittlere Stärke eines Mannes geht in diesem Fall nach Regnier auf 130 Kilogr. (265 ℔.) Ein starker Mann, der sich nicht getraute, 500 ℔. vom Boden zu heben, brachte den Zeiger bis auf 370 Kilogr. (755 ℔.) Die Kraft der Weiber ist im Mittel derjenigen eines Jünglings von 15 bis 16 Jahren gleich, überhaupt ungefähr ⅔ von der Stärke der Männer.

Vergleicht man mit diesen Angaben diejenigen, welche der Naturforscher Peron auf seiner Reise nach Neuholland gesammelt hat, so erscheint die Kraft der Europäer bedeutend gröfser, und Regnier's Resultate kommen nicht einmal den Anstrengungen der ungeübtern und schwächern Wilden auf Neuholland und Timor gleich, indem diese für das Alter von 2[illegible] bis 50 Jahren eine Druckkraft von 58 Kilogr. (118 ℔.) und einen Zug von 165 Kilogr. (336 ℔.) ausübten. Die dort anwesenden Franzosen, gröfstentheils Seeofficiere und Gelehrte im Alter von 20 bis 50 Jahren brachten den Druck der Hände auf 69,2 (141 ℔.) und die Ziehkraft auf 221 Kilogr. (452 ℔.); vierzehn Engländer daselbst, von dem nämlichen Alter und ebenfalls von der Klasse, die keine Handarbeit treibt, vermochten im Mittel 71,4 Kilogr. (146 ℔.) und 238 Kilogr. (486 ℔.). In der Vermuthung, auf Peron's Instrumente möchte die Theilung nicht mit dem wahren Werthe der Compression der Ellipse übereinstimmend gewesen seyn, verschaffte ich mir

ein Regnier'sches Dynamometer, und prüfte seine Theilung durch aufgelegte und angehängte Gewichte. Es ergab sich, daſs die Echelle des pressions die Resultate um ein halbes Kilogramm; die Echelle de tirage um 1½ Kilogr. zu groſs angab. Dabei fand sich die Kraft von 16 Personen zwischen 30 und 50 Jahren, lauter Gelehrte und Maler, 71,0 Kilogr. (145 ℔.) auf den Druck, und 176 Kilogr. (358 ℔.) auf den Zug nach der corrigirten Scale. Es scheint also, daſs die Angaben von Peron's Instrumente Zutrauen verdienen, und Regnier's Mittelgröſsen der Stärke das Ergebniſs weniger Versuche und schwacher Subjecte seyen. Bei Leuten von der arbeitenden Klasse werden die Resultate etwa um ⅛ oder $\frac{1}{10}$ gröſser.

So einfach Regnier's Dynamometer, und so wohl ausgedacht es ist, so ist es doch auf verschiedene Kraftäuſserungen der menschlichen Arme nicht anwendbar, und seine Fähigkeit, die Kraft des Händedrucks zu messen, von geringem Nutzen, da oft ziemlich schwache Leute hierin eine merkliche Kraft ausüben können. Auch ist, wie wir oben gesehen haben, die excentrische Bewegung des Zeigers bei gleicher Eintheilung der Scale der Genauigkeit der Angaben keineswegs vortheilhaft, und überdem das Instrument wegen der starken Abplattung der Ellipse für den Zug in der Richtung I I' etwas unempfindlich. Von allen diesen Mängeln ist die nachfolgende von G. W. Muncke[1] angegebene Abänderung des Dynamometers frei. Zuerst besteht, der gröſsern Elasticität und Stärke wegen, der elliptische Bügel A B C D aus federhartem Stahle, ist in den schwächsten Theilen, da, wo in der Figur die Buchstaben A, D, C, B gezeichnet sind, 1 Lin.; bei den Handhaben a, a 1,25; in der Gegend der Ringe b b aber 1,5 Par. Lin. dick, und durchaus 1,6 Zoll hoch; die groſse Axe beträgt 14,5 Z. die kleine 5 Z. Durch die ungleiche Dicke des Bügels ist vorzüglich bezweckt, daſs er an den Stellen, wo die Handgriffe und die beiden Ringe nebst dem inwendigen Mechanismus angeschraubt sind, nicht zu schwach, und somit seine Ausdehnung stets regelmäſsig ist. Um diesen Zweck noch mehr zu erreichen, ist keine Schraube in den Bügel selbst geschnitten, sondern dieser ist bloſs mit den

Fig. 212.

---

1 Handschriftl. Mittheilung.

zum Hindurchstecken der Schrauben erforderlichen Löcher durchbohrt. In der Richtung der kleinen Axe sind vermittelst der Schrauben c, c; c, c die beiden Handgriffe a, a angeschraubt, welche zum bequemeren Festhalten etwas gepolstert, und mit Leder umwunden werden. In der Richtung der großen Axe aber sind zwei Oehre f, f durchgesteckt, und mittelst der Schrauben d, d und der genau an die Biegung passenden Platten g, g befestigt: durch diese gehen die starken, im Ganzen geschmiedeten eisernen Ringe von 1,8 Z. innerem Durchmesser, und 0,36 Z. Dicke, welche in den hinlänglich erweiterten Oehren sich frei und leicht bewegen. Man ersieht bald, dafs die Handhaben a, a, dazu dienen, kleinere Kräfte zu messen, die Ringe aber für gröfsere und sehr grofse bestimmt sind. In der Mitte der Ellipse und am einen Ende der kleinen Axe ist vermittelst der Schrauben γ, γ der flache, 1 Lin. dicke, eiserne Träger α festgeschraubt, welcher in drei Zweige ausläuft; zwei derselben δ, δ, 2 Lin. breit, dienen als Halter des auf ihnen festgeschraubten etwas mehr als Halbkreises ν ν ν, der dritte ζ aber ist in einer Länge von 2 Zollen ausgeschnitten, trägt am Ende den Haken $\varkappa$ welcher sich zwischen den beiden durch die Schrauben β β an die stählerne Ellipse befestigten Zweigen λ λ bewegt, und dazu dient, bei etwa angewandter übermäfsiger Kraft an den Handgriffen a, a gegen den Haken i an dem Zweige λ zu fassen, und die weitere Ausspannung des Dynamometers in der Richtung der kleinen Axe zu sistiren; zugleich aber, wenn eine allzustarke Kraft auf die Ringe b, b wirkt, gegen das Bodenstück sich zu stemmen, und somit eine weitere Ausdehnung nach der Längenaxe unmöglich zu machen; eine zur Sicherung des Werkzeuges nothwendige Vorrichtung. Auf dem Träger α ζ $\varkappa$ des getheilten Bogens ν ν ν ist ein Stift befestigt, um welchen die Rolle ε ε sich leicht, doch ohne die geringste Schlotterung umdreht. Ueber dieselbe ist die Schnur (eine feine Darmsaite) φ φ φ ganz herumgeschlungen, und mit ihrem einen Ende an den Vorsprung ψ des Trägers λ, mit dem andern aber an die Feder σ τ befestigt. Letztere ist der gröfsern Stärke wegen doppelt, und aus einer starken Taschenuhrfeder gemacht; sie ist in der kleinen Querstange π τ in einem Einschnitte bei τ festgekeilt, und geht freigelassen bis an den Bügel des Dynamometers zurück, ist aber so angespannt, dafs sie den

auf der Rolle a befindlichen Zeiger bei der Verkürzung der kleinen Axe bis μ' hinzieht, während dem sie bei Verlängerung derselben ohne Widerstand sich bis zur Rolle a hinziehen läfst, in welchem Falle der Haken a mit dem Vorsprung i zusammenstöfst, und der Zeiger in μ sich befindet. Dieser Letztere sitzt auf der Rolle, durch Reibung fest, so dafs er sich wie ein Uhrzeiger stellen läfst, aber dennoch mit der Rolle fortgeht; sein anderes Ende gleitet auf dem Gradbogen, und schneidet daselbst vermittelst eines eingerissenen scharfen Strichs den gemessenen Grad der Eintheilung ab. Da es aber bei vielen Versuchen auf eine solche Schärfe nicht ankommt, und oft die unmittelbare Beobachtung des Zeigers unthunlich ist, so sind auf einer Verlängerung des Stiftes, den die Rolle trägt, und concentrisch mit dieser, zwei leichtbewegliche Zeiger $\omega' \omega'$ und $\omega'' \omega''$ angebracht, welche durch ein auf dem Hauptzeiger befindliches Stiftchen seitwärts geschoben werden.

Die Eintheilung des Kreisbogens $\nu\nu$ ist willkürlich; sie ist, wie sich's von selbst versteht, empirisch durch angehängte Gewichte gemacht. Von α nach μ hin sind 125 Kilogramme aufgetragen, und zwar von 0 bis 25 K. je zu halben Kilogrammen, von 50 bis 125 K. zu 5 Kilogr. Nach μ' hin aber befinden sich 300 K. nämlich von 0 bis 100 von 5 zu 5, nachher von 10 zu 10 Kilogrammen. Noch mufs bemerkt werden, dafs die Wirkung des Instruments auf eine horizontale Lage desselben berechnet ist. Wird es aufgehängt oder vertical gehalten, so mufs der Zeiger vorerst auf Null eingestellt werden. Alles an demselben ist von Stahl mit einziger Ausnahme der Theilung, die von Messing und versilbert ist [1].

Um den mannichfachen Gebrauch zu zeigen, welchen man von diesem Dynamometer machen kann, mögen hier einige Versuche folgen, welche an drei Personen O, W und M angestellt wurden [2]. O. ist ein Instrumentenmacher, 34 Jahre alt, von mittlerer Gröfse, und gut genährt; W. ein Gärtner, 46 Jahr alt, mittlerer Gröfse, an tägliche, doch nicht übertriebene Arbeiten gewöhnt, mäfsig gut genährt. M. ein Gelehrter, 51 Jahre alt, eine ungewöhnlich anhaltende sitzende Lebensart führend, frü-

---

1 Ein Exemplar, wie das hier beschriebene, kostet 5 Ldrs.

2 Handschriftl. Mittheilung.

her an körperliche Anstrengung gewöhnt, gut genährt, von mittler Gröſse. Das Dynamometer giebt halbe Kilogramme an.

	O	W	M
1. Ausspannung beider Arme in einer Linie horizontal, und parallel mit der Brustfläche .	89	62	75
2. Ausspannung der Arme, der eine der Brust entgegen ziehend, der Andere von ihr abstoſsend	125	104	115
3. a. Ausspannung des rechten Armes, das Dynamometer an einem Riemen über die Schulter befestigt			(112
3. b. desgleichen des linken Armes . .			98
4. Zusammenziehen der Arme, mit der einen Hand einen festen Punct ergreifend, mit der andern das festgebundene Dynamometer haltend	160	130	15
5. Kraft des rechten Beines bei der Ausstreckung gegen einen Riemen um die Hüfte .	288	178	279
6. Kraft der Rückenmuskeln, mit dem einen Fuſs in den einen Halter des Dynamometers tretend, mit beiden Händen den andern ziehend, Stellung wenig gebückt . .	219	189	235

Hier ist einzig die letzte Art der Kraftäuſserung mit den obigen Versuchen einigermaſsen vergleichbar. Die Resultate sind jedoch geringer, weil die drei Personen sich nicht getrauten, bei dieser etwas gefährlichen Stellung allzugroſse Anstrengungen zu machen, und es ihnen überhaupt vorzüglich darum zu thun war, die mittlere Stärke eines Mannes zu finden.

Das Dynamometer ist nicht nur zur Messung menschlicher Kräfte ein sehr brauchbares Instrument, sondern seine Solidität und geschmeidige Form macht es auch zu andern Messungen, zur Schätzung der Zugkraft eines Pferdes, Beurtheilung der Reibung der Fuhrwerke, Pflüge u. s. w. sehr brauchbar. Nach Regnier betrug die Zugkraft eines Pferdes 30, 41, 33½, 41 Myriagrammes (im Mittel 745 Pfunde). Pferde von Pariser Miethkutschern brachten es sogar auf 52½ Myr. (1070 Pfde.). Da die Pferde, wenn sie einen starken Widerstand fühlen, sich leicht entmuthen, so räth Regnier an, das aufzustreckende Seil nicht um einen Pfosten zu schlingen, sondern als Chorde an die En

den eines Bogens zu befestigen, der aus sechs zusammengebundenen Brettern von Eschenholz gemacht ist, die nach den Enden hin verjüngt zulaufen. Legt man nun diesen Bogen hinter dem in der Erde befestigten Pfosten, so wird derselbe durch den Zug der Pferde allmälig gekrümmt, und der absolute Widerstand tritt erst später ein. Das Nämliche läſst sich auch nach Regnier durch eine Reihe von Gewichten oder Steinen erreichen, welche auf kleinen Schlitten liegend, durch Seile verbunden sind, die eins nach dem Andern durch den Zug der Pferde angestreckt werden, und so die Last allmälig vergröſsern.

Es ist zu wünschen, daſs dieses zweckmäſsige und bequeme Instrument häufiger als bisher benutzt werde, einerseits um die oft ans Unglaubliche gränzenden Kraftäuſserungen, deren einzelne Menschen oder Thiere zuweilen fähig sind, nach Maſs und Gewicht kennen zu lernen; andererseits um genauere Angaben der Mittelgröſsen für verschiedene in der praktischen Mechanik vorkommende Anwendungen menschlicher, thierischer und physischer Kräfte zu erhalten, und so in unsern Lehrbüchern einige oft unwillkommene Lücken auszufüllen. *H.*

Man sehe hierüber: Memoires explicatifs du Dynamomètre et autres machines, inventées par le C^en^. Regnier. Paris. An 7. 4. mit K. und einem Nachtrag von Regnier im Journ. des mines N°. 132. 1807. 8. Journ. de l'École Polytech. II. 160. G. II. 91. Phil. Mag. I. 399. Ein durch Louis Martin angegebenes hydraulisches Dynamometer S. Ann. de Chim. et Phys. XIX. 421, so wie den durch Prony ebend. p. 165. vorgeschlagene Apparat zur Bestimmung des dynamischen Effectes der Maschinen sind noch nicht allgemein eingeführt, und können daher hier nur geschichtlich erwähnt werden.

Ende des zweiten Bandes.

Nothwendige Verbesserung zum ers[ten] Theile des Wörterbuches.

Es ist in den Formeln für die Ausdehnung des Que[ck-]bers und der expansibelen Flüssigkeiten der Divisor hinzu[zufü-]gen vergessen. Man lese also pag. 601 Z. 1.:

und überhaupt ist ein gegebenes Volumen desselbe[n bei] t Graden C. $= v$; für t' Grade $= v'$

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}00018018}{1 + t.\ 0{,}00018018}\right)$$

für die Réaumür'sche Scale aber ist:

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}000225225}{1 + t.\ 0{,}000225225}\right)$$

für die Fahrenheit'sche aber ist:

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}0001001001}{1 + t.\ 0{,}0001001001}\right).$$

Desgleichen pag. 642 Z. 4 v. u.:

so ist allgemein für Grade der C. Scale:

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}00375}{1 + t.\ 0{,}00375}\right)$$

für die Réaumür'sche Scale:

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}0046875}{1 + t.\ 0{,}0046875}\right)$$

und für die Fahrenheit'sche:

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}002083334}{1 + t.\ 0{,}002083334}\right).$$

M.

Bey dem Verleger dieses ist erschienen:

ms, Georg, Versuch über die Elektricität, worin Theorie und Aus-
ung dieser Wissenschaft durch eine Menge methodisch geordneter Ex-
rimente erläutert wird, nebst einem Versuch über den Magnet. Aus
Engl. mit 6 Kupfertafeln. gr. 8. 1 Thlr.
i-Typographus, oder Widerlegung der Meinung, daß der Borken-
ifer an der Trockniß fichtener Waldungen schuld sey, aus der Natur-
schichte und mit praktischen Erfahrungen bewiesen. Mit einer Vor-
de über die nöthigen Vorkenntnisse eines Jägers oder Forstmanns,
on J. G. Bernstein. 8. 12 gr.
lly, Geschichte der Sternkunde des Alterthums bis auf die Errichtung
er Schule zu Alexandrien. Aus dem Franz. 2 Bde. mit Kupfern.
r. 8. 1 Thlr. 18 gr.
— Geschichte der neuern Astronomie von der Stiftung der Alexan-
rinischen Schule bis auf Kepler. Mit 15 Kupf. 2 Bde. gr. 8.
2 Thlr. 8 gr.
rneveld, Wilhelm van, medicinische Elektricität. Aus dem Holländi-
chen mit 3 Kupfertafeln. gr. 8. 20 gr.
rtholon, de St. Lazare, Hr. Abt, über die Elektricität, in Bezie-
hung auf die Pflanzen; die Mittel, die Elektricität zum Nutzen der
Pflanzen anzuwenden u. s. w. Nebst der Erfindung eines Elektrove-
getometers, mit 3 Kupfert. gr. 8. 1 Thlr.
cquilley, E. F. von, die Rechnung des Wahrscheinlichen. Aus dem
Franz. übersetzt und mit Anmerkungen versehen von C. F. Rüdiger.
gr. 8. 1 Thlr.
wallo, Tiberius, Abhandlung über die Eigenschaften der Luft u. der
übrigen beständigen elastischen Materien, nebst einer Einleitung in
die Chemie. Aus dem Engl. übersetzt mit 3 Kupfertafeln. gr. 8.
2 Thlr.
— Geschichte und Praxis der Aerostatik. Aus dem Engl. übers.
Mit 2 Kupfert. gr. 8. 16 gr.
— Theoretische und praktische Abhandlung der Lehre vom Magnet
mit eignen Versuchen. Aus dem Engl. übersetzt. Mit 2 Kupfern.
gr. 8. 16 gr.
uthberson's, J., Abhandlung von der Elektricität, nebst einer genauen
Beschreib. der dahin gehörigen Werkzeuge und Versuche. Aus dem
Holl. mit 11 Kupfert. 3 Thle. gr. 8. 2 Thlr.
abers Versuch über die vortheilhafte Bauart hydraulischer Maschinen,
und insbesondre der Getraidemühlen. Aus d. Franz. übers. und mit
Anmerk. versehen v. M. A. F. Lüdicke, mit einer Vorrede von J. J.
Ebert, nebst 6 Kupfert. gr. 8. 2 Thlr.
aujas de Saint-Font, Mineralogie der Vulkane, oder Beschreib. aller
durch die unterirdischen Feuerausbrüche hervorgebrachter oder ausge-
worfener Substanzen. Aus dem Franz. übersetzt, mit drey Kupferta-
feln. gr. 8. 1 Thlr.
indenburg, C. Fr., über combinatorische Analysis und Derivations-
Calcul, einige Fragmente, gesammelt und zum Druck befördert. gr. 8.
2 Thlr.
Klügel und Mollweide, mathematisches Wörterbuch, oder Erklärung der
Begriffe, Lehrsätze, Aufgaben und Methoden der Mathematik mit den
nöthigen Beweisen und litterarischen Nachrichten begleitet, in alphabet.
Ordnung. 1ste Abtheil. die reine Mathematik. 1r 2r 3r 4r Thl. mit
Kupf. gr. 8. 16 Thlr. 12 gr.

Kramp Analyse de Refractions Astronomiques et Terrestres. gr. 4. 2 Thlr.

Marum, M. van, Beschreibung einer ungemein großen Electri[illegible]schine, und der damit im Taylorischen Museum zu Harlem angestell[illegible] Versuche. Aus dem Holl. übers. 3 Thle. Mit Kupfert. gr. 4. 5 Thlr. 6 g.

Milizia Grundsätze der bürgerlichen Baukunst. Aus dem Ital. nach [illegible] neuesten Urschrift verb. und mit Anmerk. begleitet von C. L. Stie[illegible] 3 Thle. mit Kupf. gr. 8. 5 Thlr. 8 g.

Müllers, J. T., Einleitung in die ökonomische und physikalische [illegible]kunde, und in die damit verbundenen Wissenschaften bis auf die [illegible]sten Zeiten, 3 Thle. 4 Thlr. 16 g.

Naumann, J. A., der Vogelsteller, oder die Kunst allerley Arten [illegible] Vögeln, sowohl ohne als auch auf dem Vogelheerde bequem [illegible] Menge zu fangen, nebst den dahin gehörigen Kupfern und einer [illegible]turgeschichte der bekannten und neu entdeckten Vögel. 8. 12 g.

— — der philosophische Bauer, oder Anleitung die Natur durch [illegible]obachtung und Versuche zu erforschen. 8. 7 g.

Sangiorgio, P., chemische und pharmacevtische Abhandlungen, nebst [illegible]nem naturhistorischen Aufsatze, aus dem Ital. übersetzt und mit [illegible]merk. begleitet von J. A. Schmidt. Mit 2 Kupfern. gr. 8. 9 g.

Späth, J. L., Abhandlung zu Berechnung des Grades der Genau[illegible] mit welcher auf einem Mauerquadranten nach John Birds und [illegible] Friedr. Branders Theilungsmethode die Abtheilung der Theilkre[illegible] die 90. und 96. Theilung vollführt werden kann, nebst einer [illegible] 8. 12 g.

— — Photometrische Untersuchung über die Deutlichkeit, mit wel[illegible] wir entfernte Gegenstände vermittelst dioptrischer Fernröhre beobach[illegible] können, in Anwendung dieser Theorie auf die Zuverlässigkeit, mit [illegible]cher vermittelst eines Hadleyschen Spiegelsextanten Winkel zu [illegible] und zu Lande können abgemessen werden, wie auch über die Zuverläs[illegible]keit, mit welcher vermittelst dieses Instruments, und einem [illegible] denen Chronometer v. Thomas Mudge oder Joseph Emery die geo[illegible]phische Länge eines Orts bestimmt werden kann. 4. 16 g.

Wunder, L. G., Versuch einer heuristischen Entwickelung der [illegible]ren der reinen Mathematik, z. Gebrauch auf gelehrten Schulen. Mit Kpfrn. 8. 1 Thlr. 6 g.

Kramp Analyse de Refractions Astronomiques et Terrestres. gr. 4.
2 Thlr.

Marum, M. van, Beschreibung einer ungemein großen Electrisirmaschine, und der damit im Taylorischen Museum zu Harlem angestellten Versuche. Aus dem Holl. übers. 3 Theile. Mit Kupfern. gr. 4.
5 Thlr. 6 gr.

Milizia Grundsätze der bürgerlichen Baukunst. Aus dem Ital. nach der neuesten Urschrift verb. und mit Anmerk. begleitet von C. L. Stieglitz. 3 Theile. mit Kupf. gr. 8. 5 Thlr. 8 gr.

Müllers, J. T., Einleitung in die ökonomische und physikalische Bücherkunde, und in die damit verbundenen Wissenschaften bis auf die neuesten Zeiten, 3 Theile. 4 Thlr. 16 gr.

Naumann, J. A., der Vogelsteller, oder die Kunst allerley Arten von Vögeln, sowohl ohne als auch auf dem Vogelheerde bequem und in Menge zu fangen, nebst den dahin gehörigen Kupfern und einer Naturgeschichte der bekannten und neu entdeckten Vögel. 8. 12 gr.

— — der philosophische Bauer, oder Anleitung die Natur durch Beobachtung und Versuche zu erforschen. 8. 7 gr.

Sangiorgio, P., chemische und pharmaceutische Abhandlungen, nebst einem naturhistorischen Aufsatze, aus dem Ital. übersetzt und mit Anmerk. begleitet von J. A. Schmidt. Mit 2 Kupfern. gr. 8. 9 gr.

Späth, J. L., Abhandlung zu Berechnung des Grades der Genauigkeit, mit welcher auf einem Mauerquadranten nach John Birds und Georg Friedr. Branders Theilungsmethode die Abtheilung der Theilkreise für die 90. und 96. Theilung vollführt werden kann, nebst einer Kupfert. 8. 12 gr.

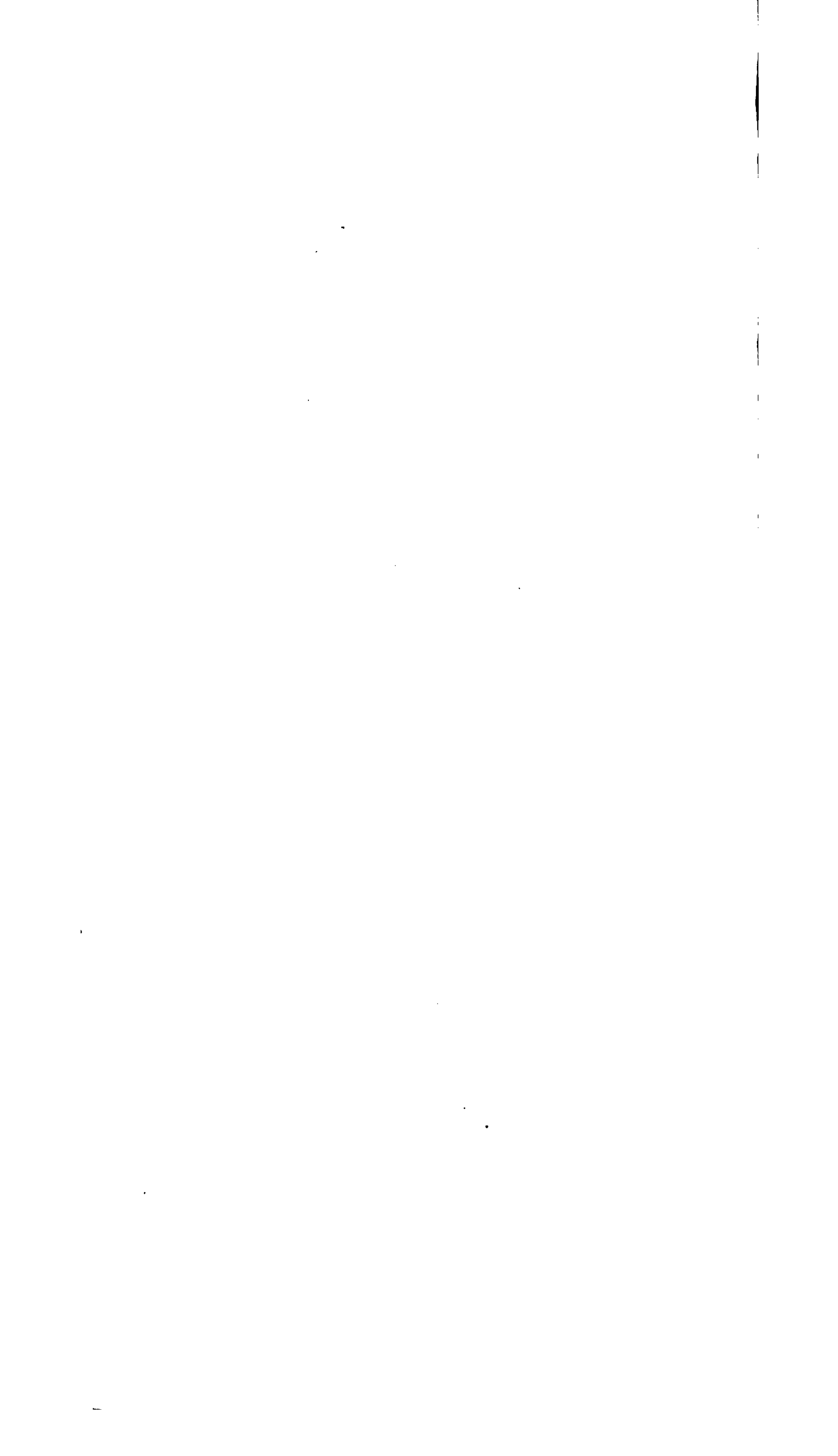
— — Photometrische Untersuchung über die Deutlichkeit, mit welcher wir entfernte Gegenstände vermittelst dioptrischer Fernröhre beobachten können, in Anwendung dieser Theorie auf die Zuverlässigkeit, mit welcher vermittelst eines Hadleyschen Spiegelsextanten Winkel zu Wasser und zu Lande können abgemessen werden, wie auch über die Zuverlässigkeit, mit welcher vermittelst dieses Instruments, und einem verschiedenen Chronometer v. Thomas Mudge oder Joseph Emery die geographische Länge eines Orts bestimmt werden kann. 4. 16 gr.

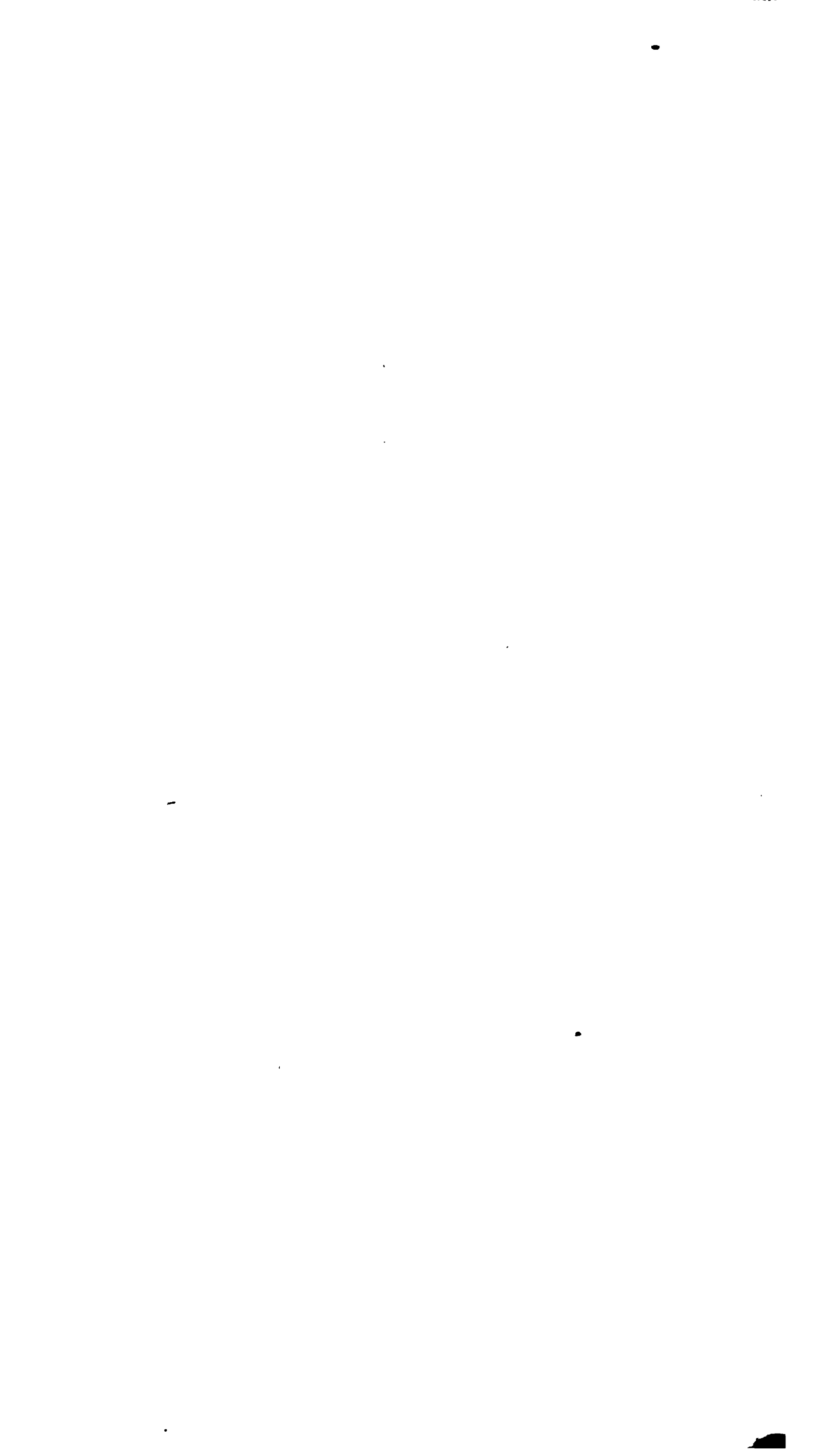
Wunder, L. G., Versuch einer heuristischen Entwickelung der Grundlehren der reinen Mathematik, z. Gebrauch auf gelehrten Schulen. Mit Kpfrn. 8. 1 Thlr. 6 gr.

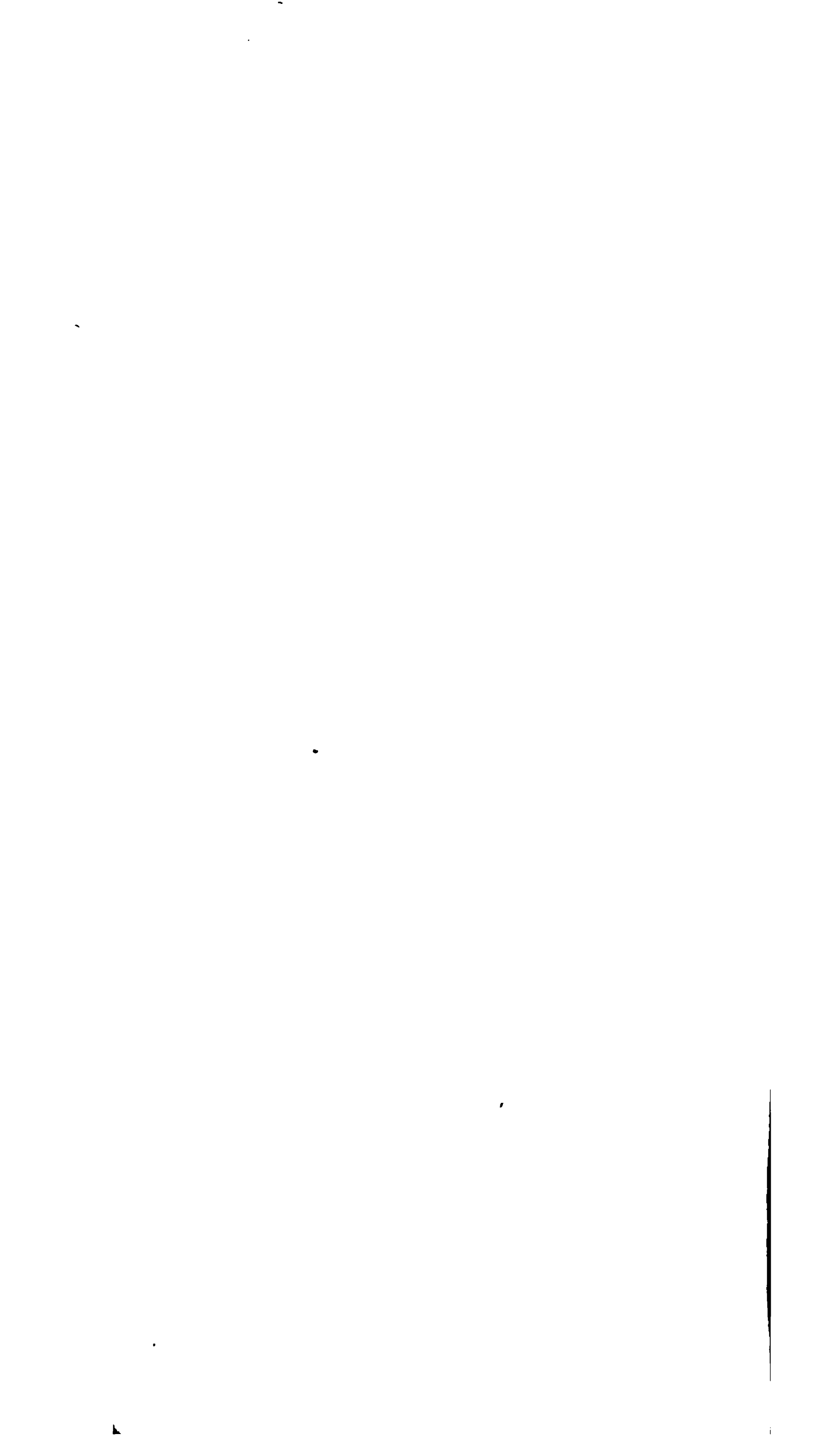


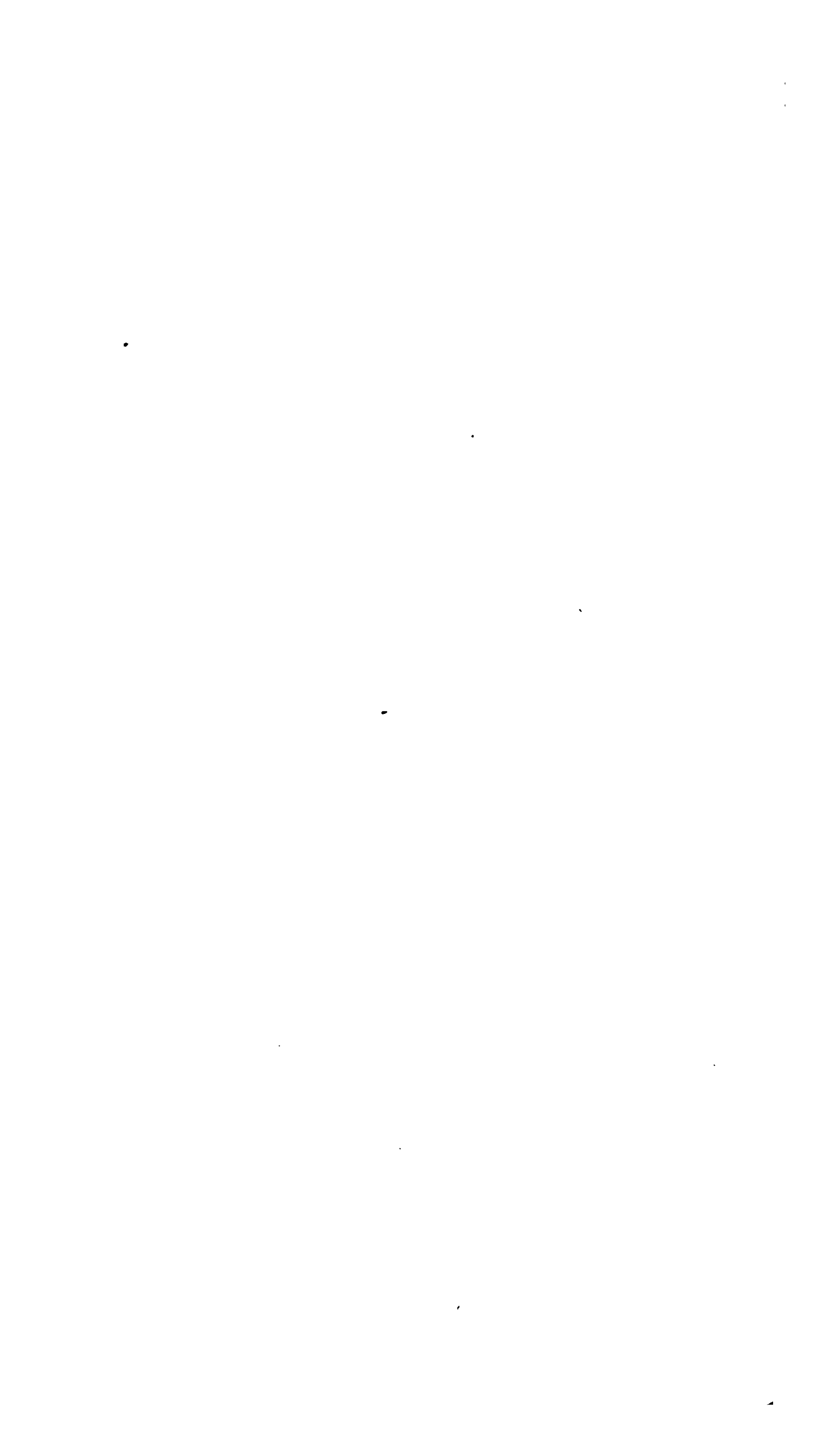






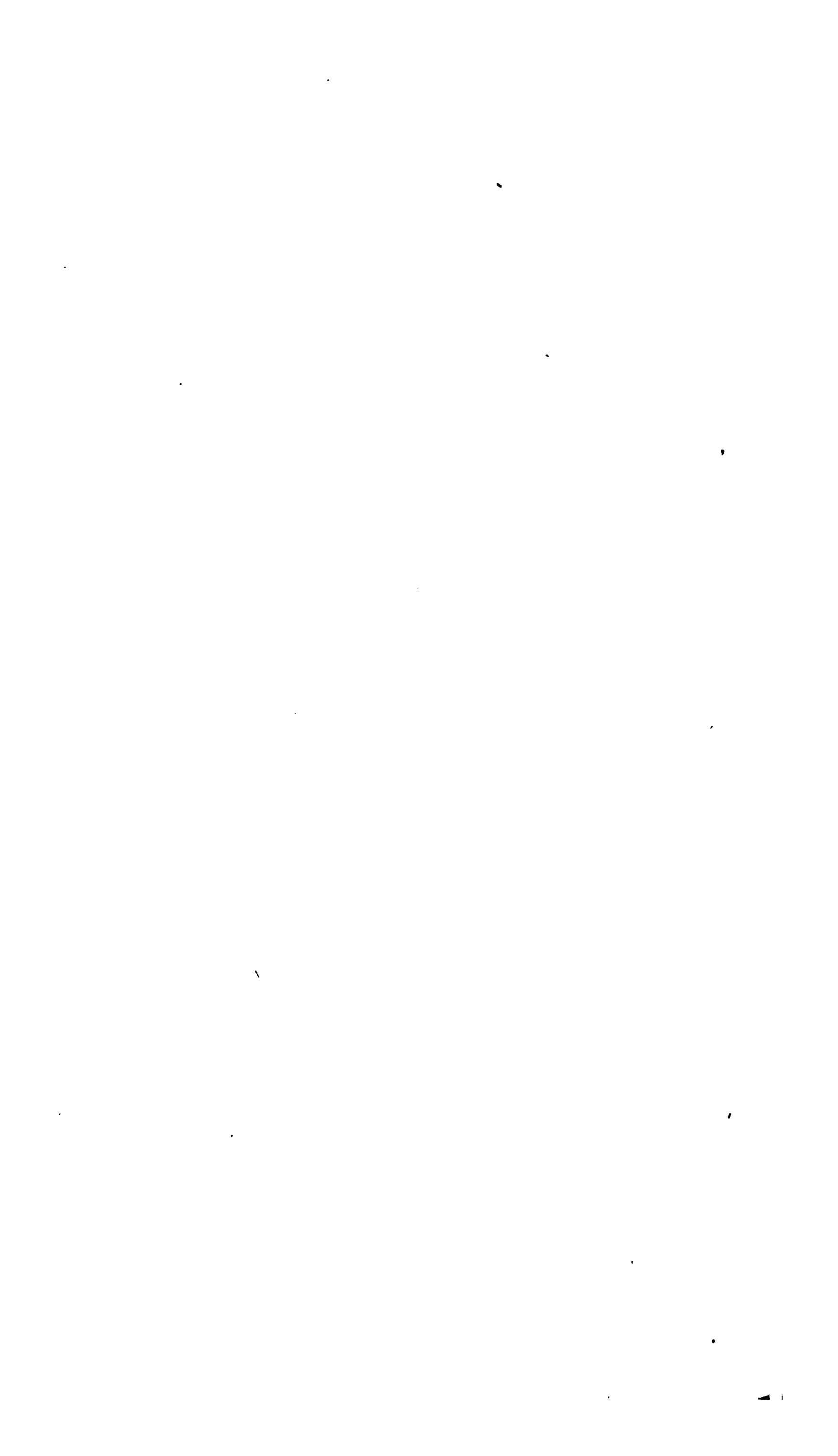


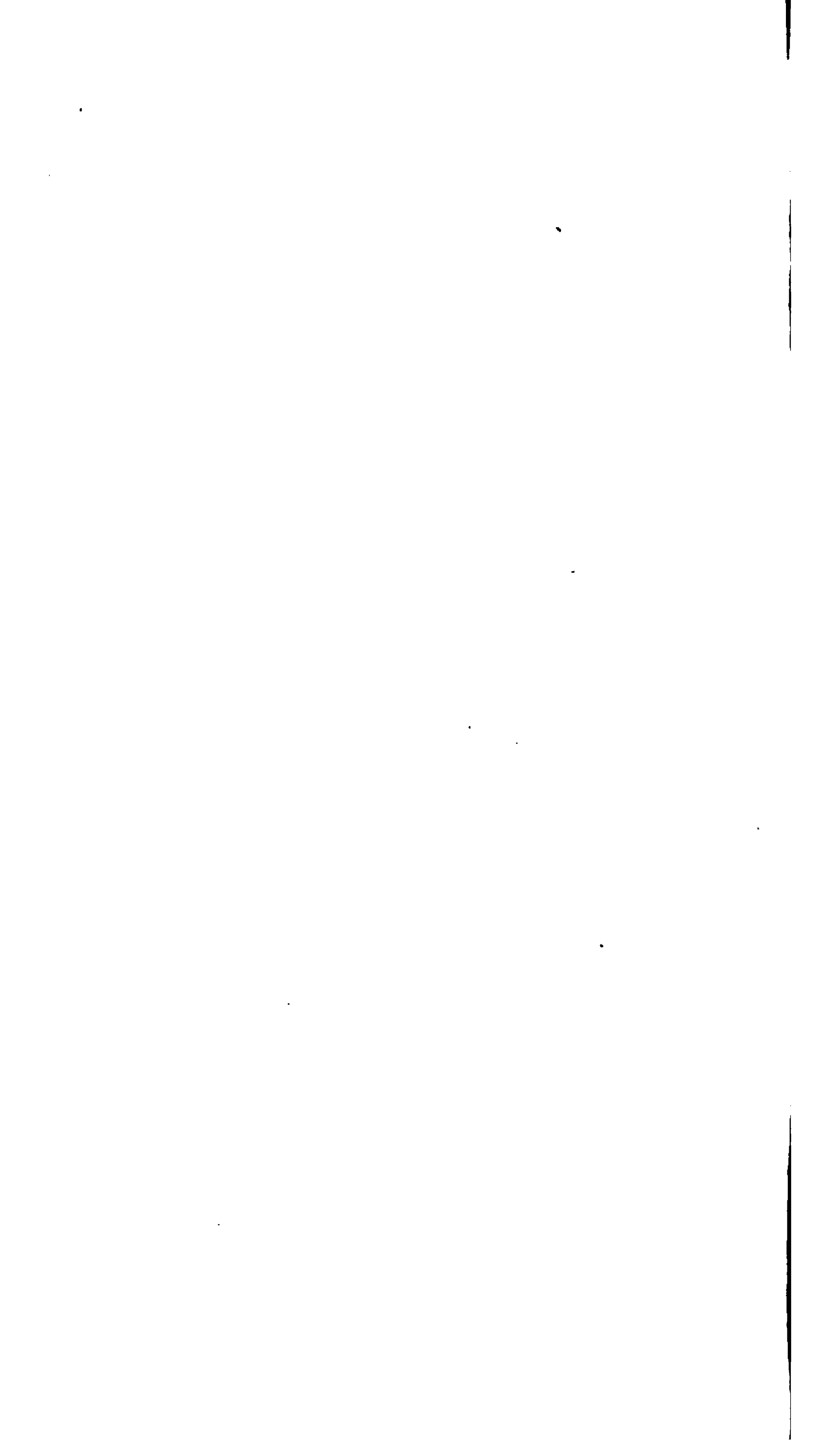


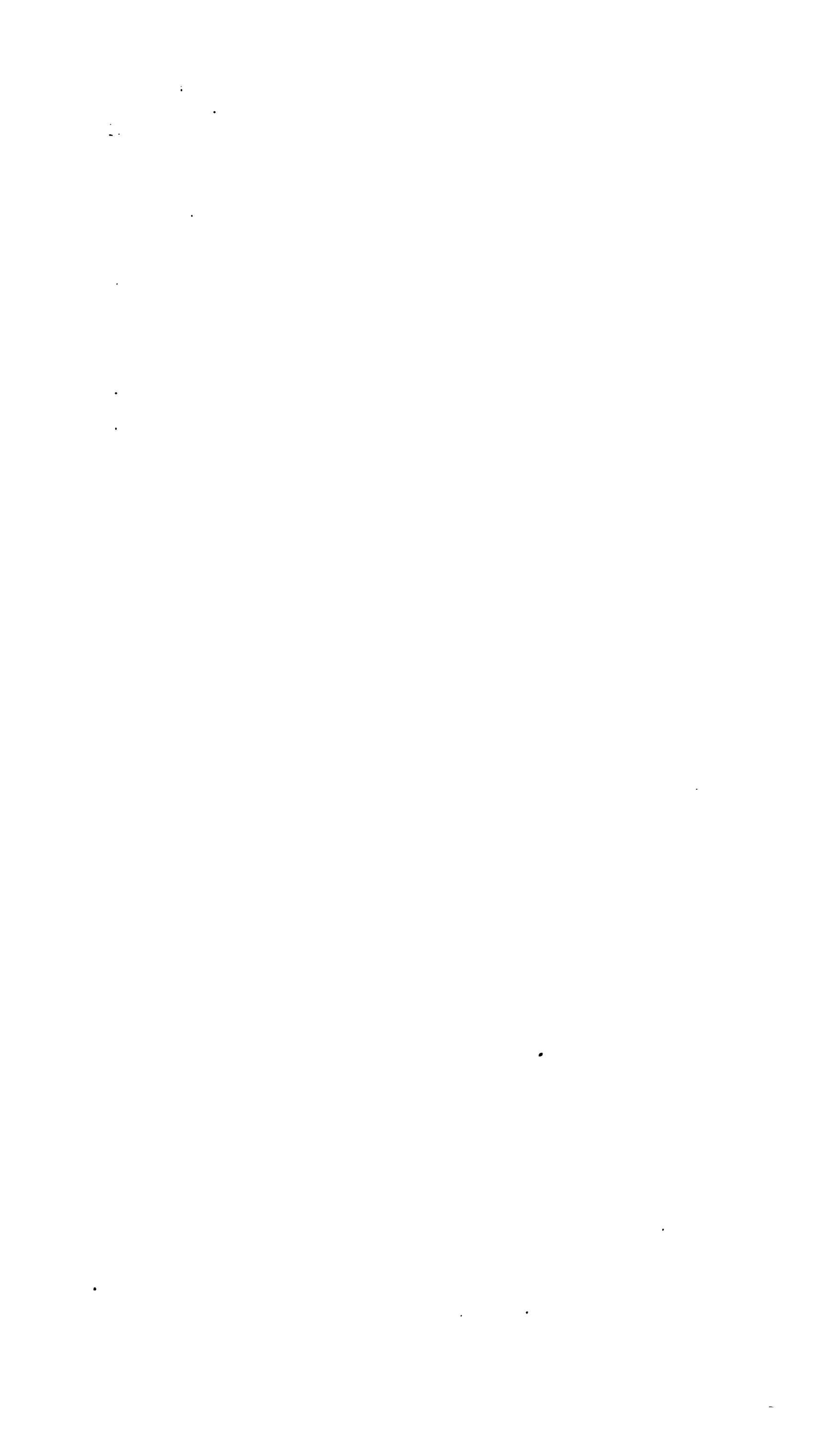






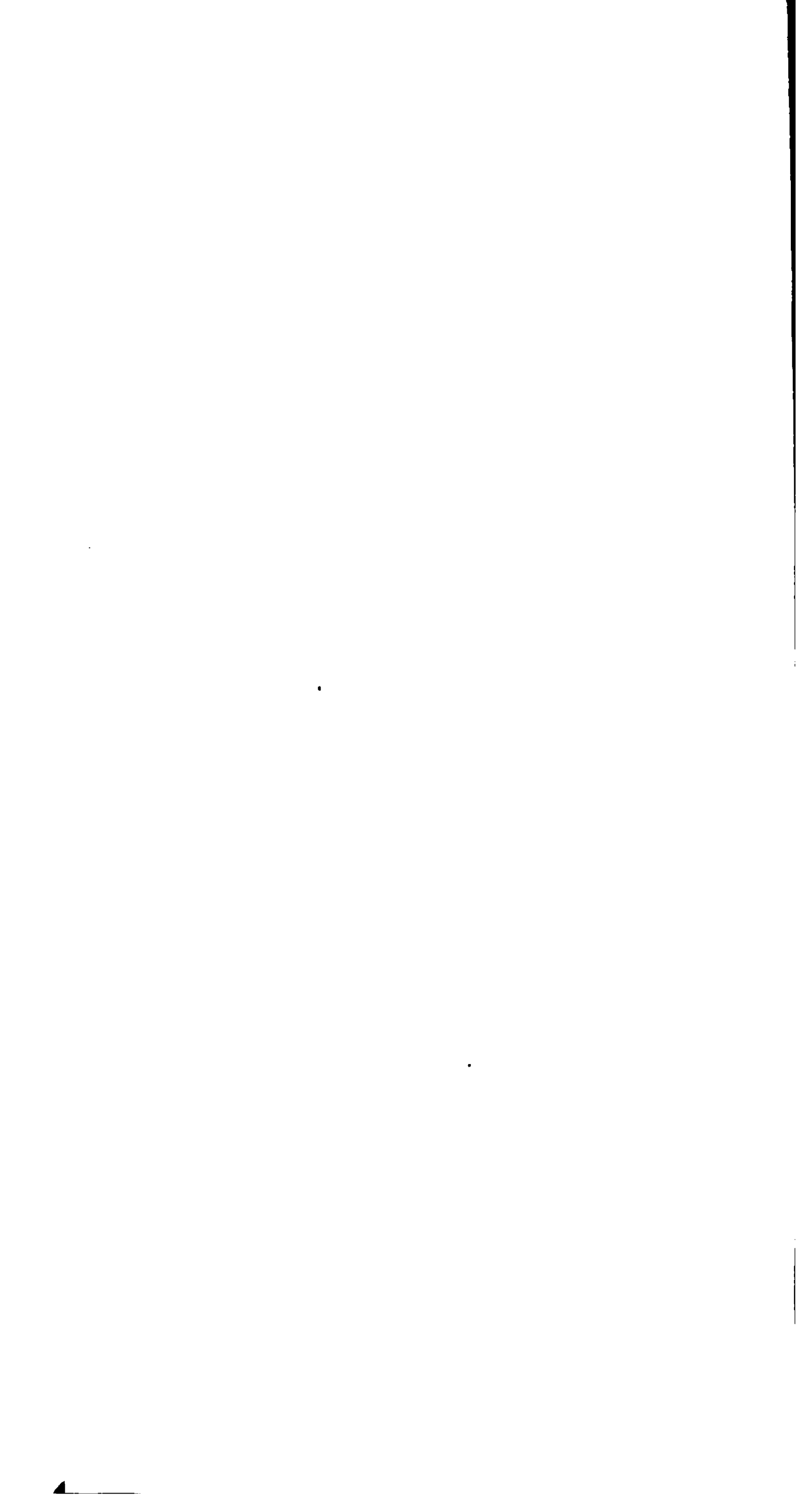


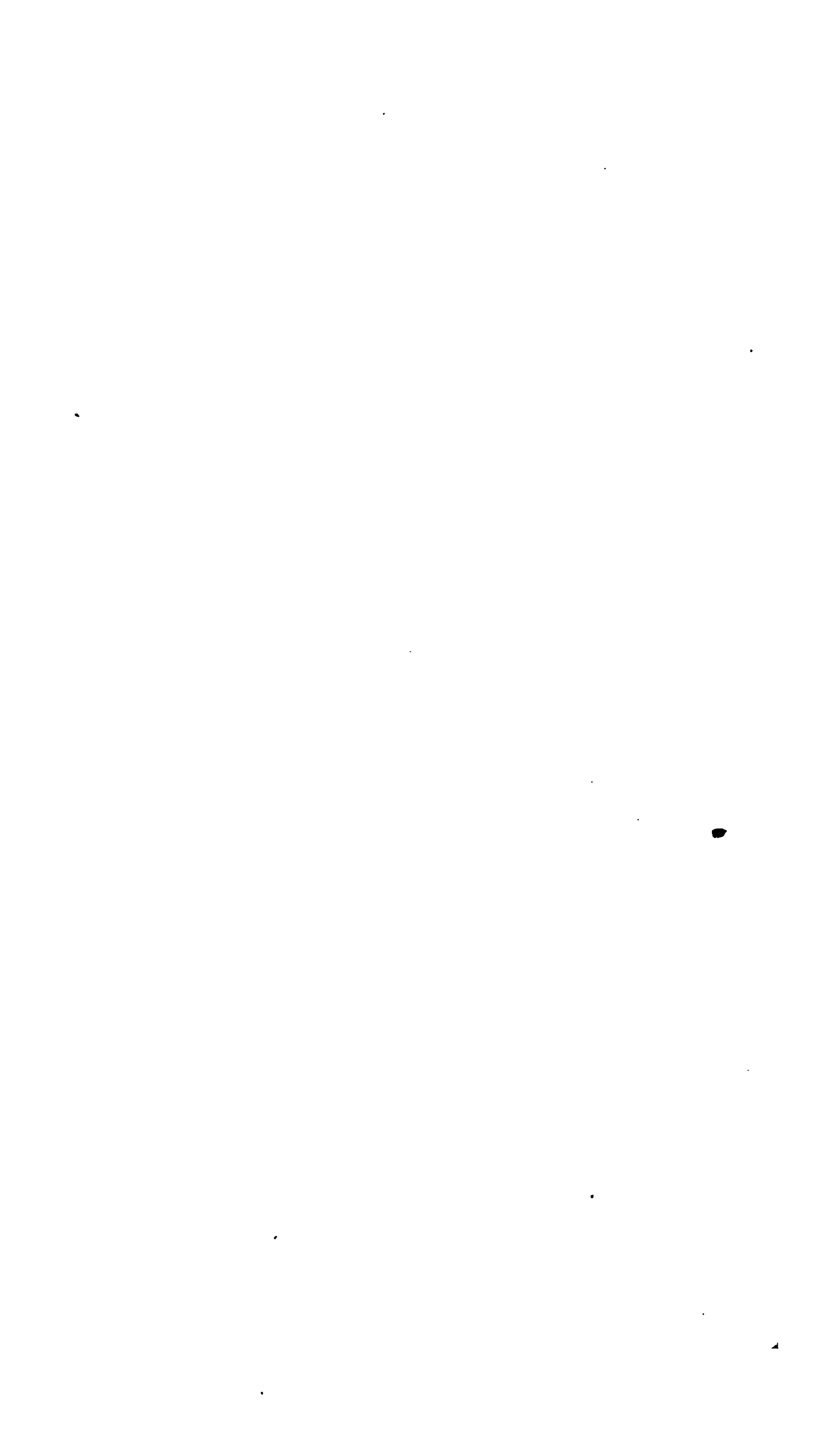


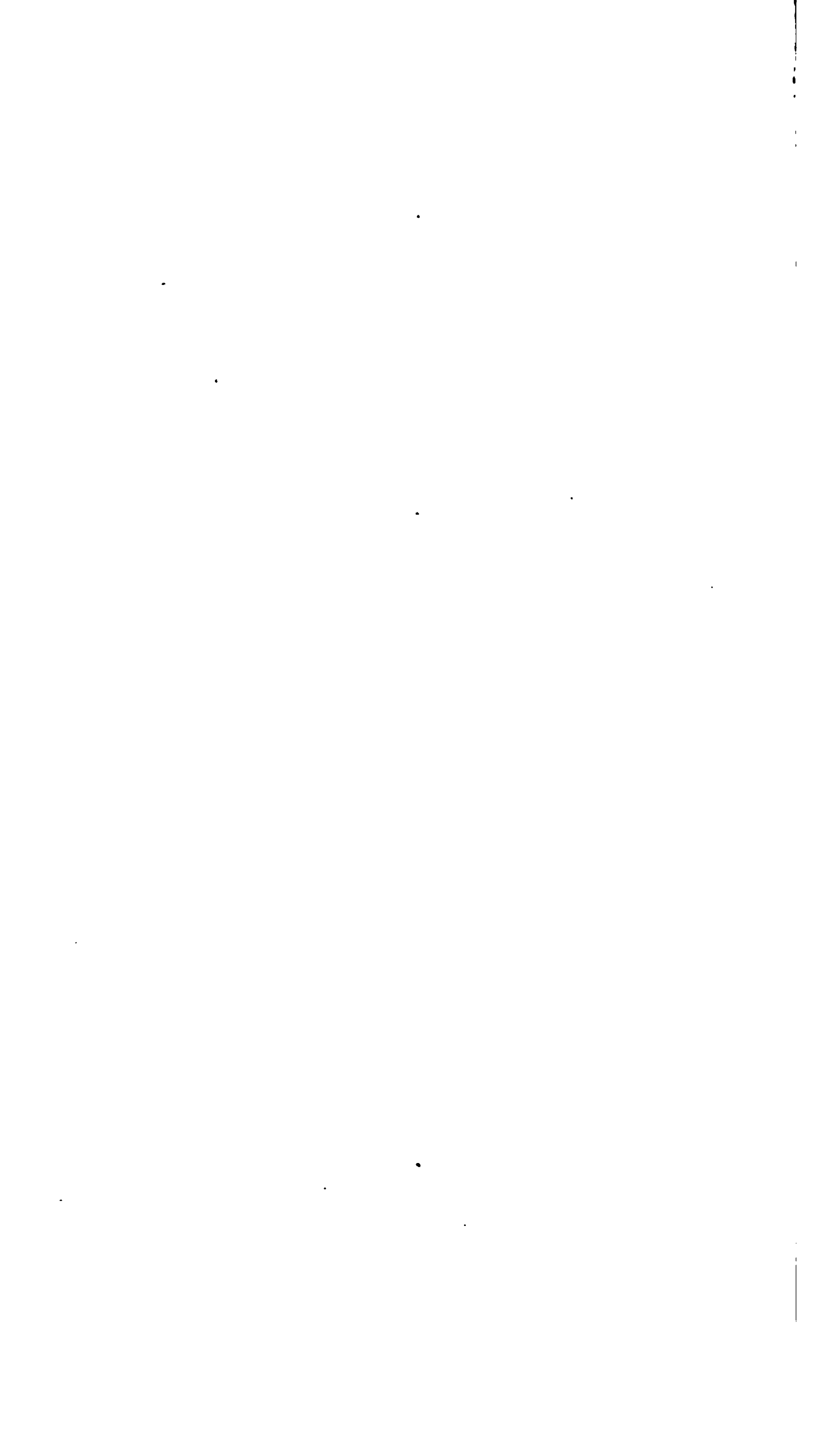








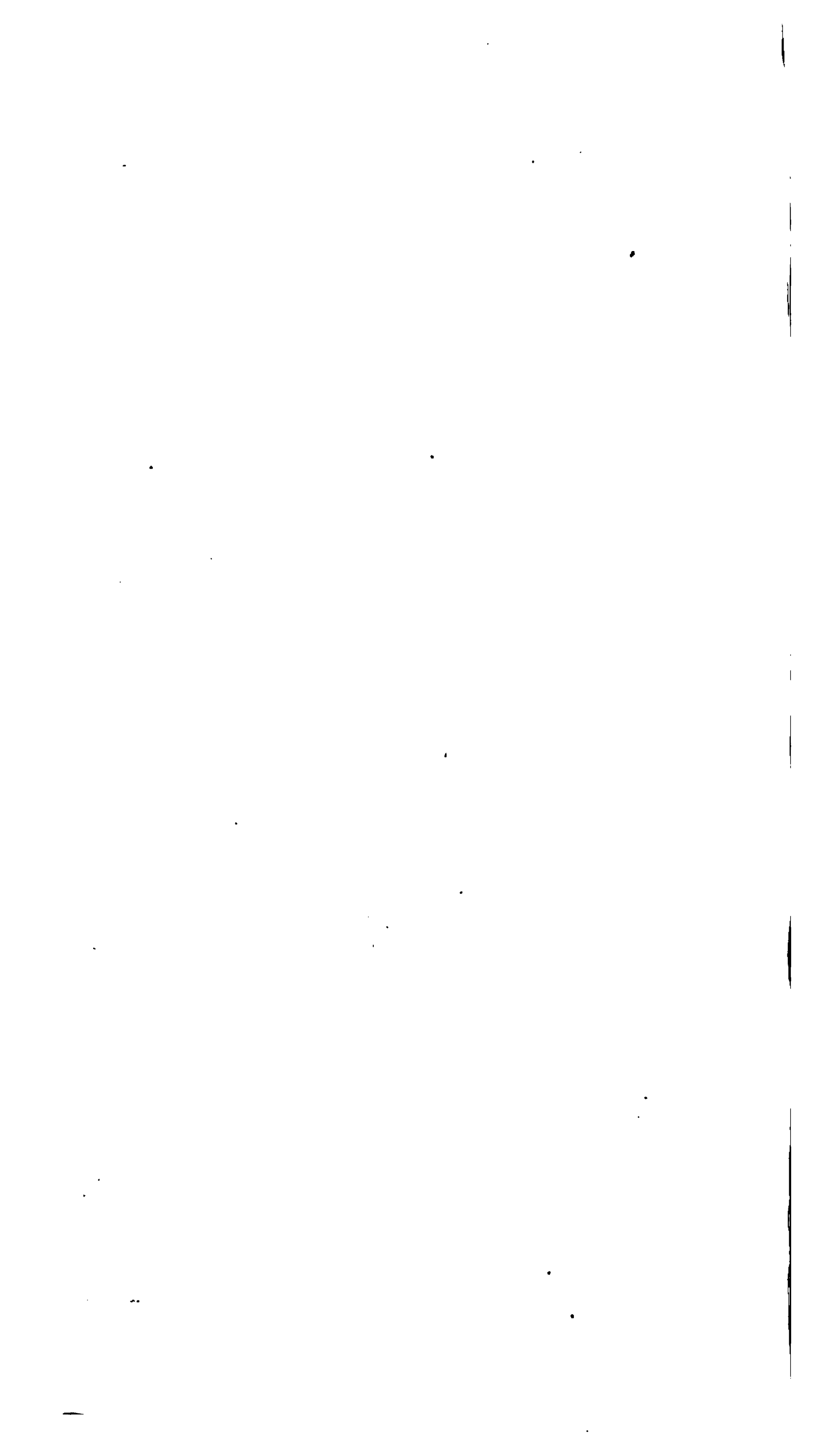












Nothwendige Verbesserung zum ersten Theile des Wörterbuches.

Es ist in den Formeln für die Ausdehnung des Quecksilbers und der expansibelen Flüssigkeiten der Divisor hinzuzufügen vergessen. Man lese also pag. 601 Z. 1.:

und überhaupt ist ein gegebenes Volumen desselben bei t Graden C. $= v$; für t' Grade $= v'$

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}00018018}{1 + t.\,0{,}00018018}\right)$$

für die Réaumür'sche Scale aber ist:

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}000225225}{1 + t.\,0{,}000225225}\right)$$

für die Fahrenheit'sche aber ist:

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}0001001001}{1 + t.\,0{,}0001001001}\right).$$

Desgleichen pag. 642 Z. 4 v. u.:

so ist allgemein für Grade der C. Scale:

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}00375}{1 + t.\,0{,}00375}\right)$$

für die Réaumür'sche Scale:

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}0046875}{1 + t.\,0{,}0046875}\right)$$

und für die Fahrenheit'sche:

$$v' = v\left(1 + (t' - t)\,\frac{0{,}002083334}{1 + t.\,0{,}002083334}\right).$$

M.

Bey dem Verleger dieses ist erschienen:

Adams, Georg, Versuch über die Elektricität, worin Theorie und Ausübung dieser Wissenschaft durch eine Menge methodisch geordneter Experimente erläutert wird, nebst einem Versuch über den Magnet. Aus d. Engl. mit 6 Kupfertafeln. gr. 8. 1 Thlr.

Anti-Typographus, oder Widerlegung der Meinung, daß der Borkenkäfer an der Trockniß fichtener Waldungen schuld sey, aus der Naturgeschichte und mit praktischen Erfahrungen bewiesen. Mit einer Vorrede über die nöthigen Vorkenntnisse eines Jägers oder Forstmanns, von J. G. Bernstein. 8. 12 gr.

Bailly, Geschichte der Sternkunde des Alterthums bis auf die Errichtung der Schule zu Alexandrien. Aus dem Franz. 2 Bde. mit Kupfern. gr. 8. 1 Thlr. 18 gr.

— — Geschichte der neuern Astronomie von der Stiftung der Alexandrinischen Schule bis auf Kepler. Mit 18 Kupf. 2 Bde. gr. 8. 2 Thlr. 8 gr.

Barneveld, Wilhelm van, medicinische Elektricität. Aus dem Holländischen mit 3 Kupfertafeln. gr. 8. 20 gr.

Bertholon, de St. Lazare, Hr. Abt, über die Elektricität, in Beziehung auf die Pflanzen; die Mittel, die Elektricität zum Nutzen der Pflanzen anzuwenden u. s. w. Nebst der Erfindung eines Elektrovegetometers, mit 3 Kupfert. gr. 8. 1 Thlr.

Bicquilley, C. F. von, die Rechnung des Wahrscheinlichen. Aus dem Franz. übersetzt und mit Anmerkungen versehen von C. F. Rüdiger. gr. 8. 1 Thlr.

Cavallo, Tiberius, Abhandlung über die Eigenschaften der Luft u. der übrigen beständigen elastischen Materien, nebst einer Einleitung in die Chemie. Aus dem Engl. übersetzt mit 3 Kupfertafeln. gr. 8. 2 Thlr.

— — Geschichte und Praxis der Aerostatik. Aus dem Engl. übers. Mit 2 Kupfert. gr. 8. 16 gr.

— — Theoretische und praktische Abhandlung der Lehre vom Magnet mit eignen Versuchen. Aus dem Engl. übersetzt. Mit 2 Kupfern. gr. 8. 16 gr.

Cuthberson's, J., Abhandlung von der Elektricität, nebst einer genauen Beschreib. der dahin gehörigen Werkzeuge und Versuche. Aus dem Holl. mit 11 Kupfert. 3 Thle. gr. 8. 2 Thlr.

Fabers Versuch über die vortheilhafte Bauart hydraulischer Maschinen, und insbesondre der Getraidemühlen. Aus d. Franz. übers. und mit Anmerk. versehen v. M. A. F. Lüdicke, mit einer Vorrede von J. J. Ebert, nebst 6 Kupfert. gr. 8. 2 Thlr.

Faujas de Saint-Font, Mineralogie der Vulkane, oder Beschreib. aller durch die unterirdischen Feuerausbrüche hervorgebrachter oder ausgeworfener Substanzen. Aus dem Franz. übersetzt, mit drey Kupfertafeln. gr. 8. 1 Thlr.

Hindenburg, C. Fr., über combinatorische Analysis und Derivations-Calcul, einige Fragmente, gesammelt und zum Druck befördert. gr. 8. 2 Thlr.

Klügel und Mollweide, mathematisches Wörterbuch, oder Erklärung der Begriffe, Lehrsätze, Aufgaben und Methoden der Mathematik mit den nöthigen Beweisen und litterarischen Nachrichten begleitet, in alphabet. Ordnung. 1ste Abtheil. die reine Mathematik. 1r 2r 3r 4r Thl. mit Kupf. gr. 8. 16 Thlr. 12 gr.

Kramp Analyse de Refractions Astronomiques et Terrestres. gr. 4. 2 Thlr.

Marum, M. van, Beschreibung einer ungemein großen Elektrisirmaschine, und der damit im Taylorischen Museum zu Harlem angestellten Versuche. Aus dem Holl. übers. 3 Thle. Mit Kupfert. gr. 4. 5 Thlr. 6 gr.

Milizia Grundsätze der bürgerlichen Baukunst. Aus dem Ital. nach der neuesten Urschrift verb. und mit Anmerk. begleitet von C. L. Stieglitz 3 Thle. mit Kupf. gr. 8. 5 Thlr. 8 gr.

Müllers, J. T., Einleitung in die ökonomische und physikalische Bücherkunde, und in die damit verbundenen Wissenschaften bis auf die neuesten Zeiten, 3 Thle. 4 Thlr. 16 gr.

Naumann, J. A., der Vogelsteller, oder die Kunst allerley Arten von Vögeln, sowohl ohne als auch auf dem Vogelheerde bequem und in Menge zu fangen, nebst den dahin gehörigen Kupfern und einer Naturgeschichte der bekannten und neu entdeckten Vögel. 8. 12 gr.

— — der philosophische Bauer, oder Anleitung die Natur durch Beobachtung und Versuche zu erforschen. 8. 7 gr.

Sangiorgio, P., chemische und pharmacevtische Abhandlungen, nebst einem naturhistorischen Aufsatze, aus dem Ital. übersetzt und mit Anmerk. begleitet von J. A. Schmidt. Mit 2 Kupfern. gr. 8. 20 gr.

Späth, J. L., Abhandlung zu Berechnung des Grades der Genauigkeit, mit welcher auf einem Mauerquadranten nach John Birds und Georg Friedr. Branders Theilungsmethode die Abtheilung der Theilkreise für die 90. und 96. Theilung vollführt werden kann, nebst einer Kupfertaf. 8. 12 gr.

— — Photometrische Untersuchung über die Deutlichkeit, mit welcher wir entfernte Gegenstände vermittelst dioptrischer Fernröhre beobachten können, in Anwendung dieser Theorie auf die Zuverlässigkeit, mit welcher vermittelst eines Hadleyschen Spiegelsextanten Winkel zu Wasser und zu Lande können abgemessen werden, wie auch über die Zuverlässigkeit, mit welcher vermittelst dieses Instruments, und einem neu erfundenen Chronometer v. Thomas Mudge oder Joseph Emery die geographische Länge eines Orts bestimmt werden kann. 4. 16 gr.

Wunder, L. G., Versuch einer heuristischen Entwickelung der Grundlehren der reinen Mathematik, z. Gebrauch auf gelehrten Schulen. Mit Kpfrn. 8. 1 Thlr. 6 gr.

